

# Trabajo de Final de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales (GETI)

## Estudio de implantación de AGVs en la fábrica X

### MEMORIA

22 de junio de 2020

**Autor:** Cristina Franco Leyva

**Directores:** Jordi Fores Viñeta

**Ponente:** Luis Solano Albajes

**Convocatoria:** Juny 2020



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona





## Resumen

Debido a las tecnologías de la información, en la última década se ha producido una revolución industrial que ha llevado consigo una evolución logística. Uno de los agentes que han hecho posible este avance en la logística es el sistema de AGVs (Vehículos de Guiado Automático). Esta memoria contiene el desarrollo del proyecto de fin de grado: **Estudio de implantación de AGV en fábrica X**. El objetivo principal de este proyecto es generar una propuesta de implantación de un sistema AGVs en la fábrica. Ésto supondría una mejora de la eficiencia de los procesos logísticos a partir del uso de vehículos autónomos. La primera fase analiza:

- La evolución de la logística; y especialmente *la logística 4.0*.
- La situación actual del entorno de la fábrica de estudio; profundizando sobre la problemática y la metodología de trabajo actual.
- El sistema AGV y todas sus características; incluyendo así los componentes del sistema, los diferentes modelos, todas las posibilidades de guiado, los distintos modos de recarga de batería y análisis de la seguridad.

A partir de toda esta información, en la segunda fase del proyecto se determinan los criterios de selección sobre el mejor sistema de AGVs. Para escoger entre los modelos obtenidos de un estudio de mercado se tienen en cuenta las características técnicas del vehículo y la versatilidad del sistema. Una vez se ha seleccionado el sistema AGV, se realiza un estudio exhaustivo de las características técnicas de todos los componentes de la solución propuesta. Sobre el modelo final se lleva a cabo un breve análisis de riesgos y logístico.

La última fase del proyecto muestra el resultado final. Éste incluye la propuesta sobre:

- El sistema de AGVs.
- El nuevo modelo logístico interno.
- Viabilidad económica de la solución.
- La planificación de la implantación.
- El funcionamiento regular del nuevo sistema.
- El final de vida útil de la solución.





# Índice

<b>1</b>	<b>Glosario</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Prefacio</b>	<b>9</b>
2.1	Origen del proyecto	9
2.2	Requerimientos previos	9
<b>3</b>	<b>Introducción</b>	<b>11</b>
3.1	Problemática	11
3.2	Objetivos del proyecto	11
3.3	Alcance del proyecto	11
3.4	Estado del arte	12
<b>4</b>	<b>Fase de Análisis</b>	<b>19</b>
4.1	Fábrica	19
4.1.1	Plano	19
4.1.2	Carros y carretilla	20
4.1.3	Almacén	21
4.1.4	Montaje	22
4.1.5	Pasillos	23
4.1.6	Descripción logística	24
4.2	Análisis Económico	25
4.3	Sistema AGV	27
4.3.1	Definición de AGV	27
4.3.2	Tipologías de Vehículos	27
4.3.3	Tipologías de Guiado - AGV	31
4.3.4	Tipologías de Guiado - AMR	33
4.3.5	Baterías y recarga	34
4.3.6	Seguridad y Normativas de los AGV	37
<b>5</b>	<b>Fase de Diseño</b>	<b>39</b>
5.1	Criterios de Selección	39
5.2	Selección de AGVs	40
5.2.1	Activespace automation	40
5.2.2	Aichikikai techno system	40
5.2.3	AutoGuide Mobile Robots	41
5.2.4	DS Automotion	41
5.2.5	Lowpad	41
5.2.6	Geek+	41
5.2.7	KIVNON	42
5.2.8	MiR: Mobile Industrial Robots	43
5.3	Propuesta de Solución	45
5.3.1	AGV	45
5.3.2	Sistema Logístico	47
5.3.3	Análisis de Riesgos	50
<b>6</b>	<b>Fase de Implantación</b>	<b>53</b>
6.1	Solución Final	53
6.1.1	Sistema AGV	53

6.1.2	Logística . . . . .	53
6.1.3	Localización . . . . .	54
6.2	Viabilidad Económica y rentabilidad . . . . .	55
6.2.1	Análisis económico de la propuesta . . . . .	55
6.2.2	Rentabilidad . . . . .	56
6.3	Fases futuras . . . . .	57
6.3.1	Instalación . . . . .	57
6.3.2	Explotación . . . . .	59
6.3.3	Retirada . . . . .	60
<b>7</b>	<b>Planificación y Presupuesto</b>	<b>67</b>
	<b>Conclusions</b>	<b>69</b>
	<b>Agraïments</b>	<b>71</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>76</b>

## Índice de figuras

1	Ejemplo de una tarjeta KANBAN . . . . .	14
2	Diagrama de la estructura de un sistema logístico inteligente . . . . .	16
3	Esquema de la planta de la fábrica . . . . .	19
4	Plano esquemático con cotas de los carros . . . . .	20
5	Carretillas AGV . . . . .	21
6	Plano esquemático de la zona de estacionamiento de la carretilla . . . . .	21
7	Plano esquemático de la zona de estacionamiento de los carros . . . . .	22
8	Plano esquemático de la zona de carros dentro de la zona montaje . . . . .	23
9	Esquema de la planta de la fábrica . . . . .	23
10	sistema adyacente al AGV . . . . .	28
11	AGC [1] . . . . .	29
12	Remolque AGV . . . . .	29
13	Carretillas AGV . . . . .	30
14	AMR . . . . .	31
15	Filoguiado [2] . . . . .	32
16	Optoguiado [2] . . . . .	32
17	Guiado Láser [2] . . . . .	33
18	Guiado Magnético . . . . .	33
19	Navegación SLAM [2] . . . . .	34
20	Estaciones de recarga de AGV . . . . .	36
21	Bumper [3] . . . . .	38
22	Área de impacto [3] . . . . .	38
23	Modelos de AMR con y sin módulo . . . . .	41
24	Modelos de Lowpad . . . . .	42
25	Modelos de Geek+ . . . . .	42
26	Modelos de KIVNON . . . . .	42
27	Modelos de AMR con y sin módulo . . . . .	43
28	Estación de recarga de batería . . . . .	49
29	Cámaras y rango de visión del MiR 200 + Hook . . . . .	50

30	Campos para la conducción . . . . .	50
31	Sistema AGV . . . . .	53
32	Plano esquemático de la nueva zona de carros dentro de la zona montaje . . . . .	54
33	Plano esquemático de la zona de estacionamiento de la carretilla . . . . .	54
34	Gráfico de coste acumulado . . . . .	56
35	Gráfico de la nueva planta . . . . .	57
36	Plano esquemático de la nueva zona de estacionamiento de los carros . . . . .	58
37	Diagrama de Gantt de la fase de instalación . . . . .	59
38	Diagrama de flujo de funcionamiento . . . . .	61
39	Diagrama unión entre carro y AGV . . . . .	62
40	Situación inicial . . . . .	62
41	Ruta desde estación de carga a recoger carro lleno . . . . .	63
42	Ruta desde almacén a zona de trabajo . . . . .	63
43	Ruta zona de trabajo a almacén . . . . .	64
44	Ruta con cola de misiones vacía . . . . .	64
45	Ruta con cola de misiones llena . . . . .	65
46	Diagrama de Gantt del proyecto . . . . .	67

## Índice de cuadros

1	Resumen características de Gestión de Cadena de Valor [4] . . . . .	14
2	Situación económica inicial . . . . .	27
3	AGV vs AMR . . . . .	31
4	<i>Opportunity charging vs. Battery exchange</i> . . . . .	37
5	Resumen: criterios de selección . . . . .	40
6	AGVs comparación . . . . .	44
7	Matriz de decisión por evaluación . . . . .	46
8	Ficha técnica del AGV propuesto . . . . .	47
9	Costes de oportunidad . . . . .	48
10	Campos para la conducción hacia delante . . . . .	51
11	Campos para la conducción hacia atrás . . . . .	51
12	Desglose de precios del sistema AGV . . . . .	55
13	Costes de operación . . . . .	56
14	Coste acumulado. Cifras en miles de € . . . . .	57
15	Coste de personal . . . . .	67
16	Coste material . . . . .	67
17	Coste de licencias . . . . .	67



## 1. Glosario

- **AGV:** *Automated Guided Vehicle* (Vehículo de Guiado Automático).
- **AMR:** *Autonomous Mobile Robot* (Robot Móvil Autónomo).
- **MES:** *Manufacturing Execution System*, sistema de gestión operativa automatizado para rastrear y documentar información sobre todo el proceso productivo [5].
- **SLAM:** *Simultaneous Localization and Mapping*, técnica usada por robots y vehículos autónomos para construir un mapa de un entorno desconocido. [6].
- **KANBAN:** Traducción de *letrero* o *tarjeta* del japonés. Sistema de información que controla la fabricación de productos de la forma más armónica posible [7].
- **diagrama de Gantt:** Herramienta gráfica donde se analiza el desarrollo temporal de las diferentes tareas a realizar en un proyecto.
- **Recurso infrautilizado:** Recurso utilizado por debajo de sus posibilidades.
- **Coste de oportunidad:** Valor de la alternativa a la que se renuncia cuando se toma una determinada decisión [8].



## 2. Prefacio

### 2.1. Origen del proyecto

El objetivo principal de una fábrica es crear productos útiles a la sociedad generando valor añadido. Para poder alcanzar ese objetivo es necesario aprovechar al máximo el tiempo, los recursos, las personas y los procesos; en resumen, maximizar la eficiencia de los factores de producción.

Un proceso imprescindible dentro de la fábrica es el movimiento de materiales, componentes y productos acabados. Este proceso que traslada bienes desde unas zonas a otras es completamente necesario pero no aporta ningún valor añadido al producto final. Por eso todos los recursos que se emplean en esa operación deberían ser mínimos.

Otro proceso muy necesario, que no aporta valor añadido, es el almacenaje. Tener productos acumulados sin usar es desperdiciar el espacio que éstos ocupan. Por eso, interesa maximizar el área de las zonas de trabajo acumulando el material mínimo imprescindible que se va a utilizar para realizar las tareas.

Una solución actual que se ha empezado a aplicar para afrontar estos problemas es el uso de sistemas AGVs (*Automated Guided Vehicles*, glosario 1). Este sistema incorpora vehículos completamente automatizados que permiten trasladar una carga desde un origen a un destino sin ningún tipo de asistencia humana. Por tanto, permiten destinar los recursos humanos a tareas distintas al movimiento de material.

El proyecto nace del deseo de la fábrica por mantenerse entre los líderes de su sector a nivel tecnológico.

### 2.2. Requerimientos previos

Este proyecto está formulado desde un ámbito empresarial, de manera que está centrado en una fábrica existente. Por ello, a la hora de realizar este proyecto hace falta tener en cuenta cómo es dicha fábrica; no sólo por los espacios de trabajo, almacén y pasillos, sino también porque ya existe un proceso definido sobre cómo debe realizarse la operación de traslado de material.

Este condicionante permite aprovechar elementos ya existentes, pero también impone limitaciones sobre las áreas prácticas para este proyecto. Así pues, hay que integrar los carros que se emplean actualmente en la solución final, pero no se debe rediseñar la disposición de las diferentes zonas de la fábrica.

Al ser un proyecto en el ámbito de una empresa de producción industrial hace falta tener en cuenta que este estudio es simplemente una propuesta teórica sobre la implantación de un nuevo sistema logístico.





### 3. Introducción

Cualquier empresa que quiera liderar dentro de su sector necesita utilizar las mejoras tecnológicas para optimizar no sólo su producto sino también sus procesos. Tal y como se ha explicado en el apartado 2.1 este trabajo se centra en la mejora de los procesos de **transporte** y de almacenaje dentro de la fábrica; aplicando las técnicas del *Just in Time* y *Logística Inteligente* para optimizar el proceso de abastecimiento de las zonas de trabajo reduciendo costes.

En concreto, en la fábrica analizada, para que las estaciones de montaje tengan el material adecuado, los operarios de montaje realizan unos pedidos al almacén mediante un proceso ya optimizado de tarjetas KANBAN (glosario 1). Los operarios del almacén, una vez han recibido las peticiones, llenan unos carros con todo el material necesario. Estos componentes, que van en cada carro, quedan registrados en el sistema informatizado MES (*Manufacturing Excellence System*) (glosario 1). Una vez los carros están preparados se indica con un distintivo visual y queda también inscrito en el MES. Seguidamente los operarios del almacén transportan los carros llenos con una carretilla a las zonas de trabajo y recogen los carros vacíos.

#### 3.1. Problemática

Este sistema, ahora en funcionamiento, tiene varios problemas de eficiencia y rapidez. El problema principal surge de que el transporte de los carros no es inmediato; sólo se efectúa cuando las personas del almacén tienen disponibilidad. Eso provoca que el personal de las estaciones de trabajo pida material con varios días de antelación y se acumulen carros sin uso en las zonas de trabajo.

#### 3.2. Objetivos del proyecto

A partir de la problemática (apartado 3.1) se puede definir el propósito del proyecto: **Realizar un estudio generando una propuesta de implantación de Vehículos Autónomos para el transporte de estos carros**. Se conseguirá ahorrar tiempo a los operarios del almacén, liberar espacio en las zonas de montaje y optimizar el transporte de los carros con material. Para completar los objetivos hace falta tener en cuenta la finalidad del proyecto. Según lo que se ha comentado en el apartado 2.1, la finalidad del estudio es el uso de un sistema de AGV para transportar estos carros por dentro de la fábrica reduciendo costes en dedicación de espacio, recursos y personal.

#### 3.3. Alcance del proyecto

El alcance del proyecto depende de los Requerimientos previos (apartado 2.2) y del tiempo para plantearlo. Por eso, el proyecto de final de grado desarrollado a lo largo de varios meses (apartado 7) genera una propuesta para la implantación de un sistema de AGV para transportar los carros de componentes, ya existentes en la fábrica, entre las zonas de almacén y montaje, planteando un nuevo modelo sistemático y logístico que integre el sistema MES.

### 3.4. Estado del arte

A lo largo de la historia, la manera de aumentar la productividad en la industria ha sido a través de la implantación de máquinas para reducir mano de obra[9]. Una revolución industrial y cambios importantes en las tecnologías y la sociedad lleva implícita una automatización de los procesos y un desarrollo en la logística. La palabra logística se empezó a usar como un término militar para definir la planificación y movimiento de las tropas al principio del siglo XIX [4]. Después de la segunda guerra mundial, se produjo un boom en el consumo y consecuentemente en la fabricación. En esta época se empleó por primera vez el término *logística* en el ámbito empresarial. La *Logística 1.0* hacía referencia únicamente al estudio y la práctica de la distribución de los bienes acabados: **Logística Operativa**[10]. El objetivo era optimizar:

- **Localización:** Buscar la mejor situación del producto.
- **Tiempo:** Gestionar el inventario y el flujo de salida de bienes.
- **Características del producto:** Centrar el diseño del producto según los deseos de los clientes.

Esa optimización conseguía que el consumidor percibiera el máximo valor añadido del producto terminado [4, 11].

Durante los años 60 se observó que para fortalecer la producción en masa era necesario una cooperación entre secciones dentro y fuera de la fábrica. Ahora, la *Logística 2.0* también incluía:

- **Colaboración:** entre los proveedores, los intermediarios, los vendedores y los consumidores[10].
- **Coordinación:** de todos los procesos productivos de la fábrica; como el almacenaje, el transporte o la producción.

Este concepto es el que más tarde se conocerá como **Gestión de Cadena de Suministro** o *Supply Chain Management* en inglés (SCM) [4, 12].

En los años 70, después de la 3ª revolución industrial[13], se intentó agrupar todo el conocimiento de logística y aplicarlo en todos los departamentos de la empresa. El objetivo de la *Logística 3.0* era **flexibilizar** la producción y agilizar el flujo de todos los procesos de la planta [10]. Durante esta época, en Japón, la fábrica de TOYOTA desarrolló el término **Lean Logistics**. La esencia de este concepto es satisfacer las demandas individuales del consumidor creando el producto con el mayor valor añadido con la mínima inversión de dinero, tiempo y equipamiento [14, 11]. Las características principales de **Lean Logistics** se basan en una producción:

- **Orientada a las demandas del Consumidor.** Según esta filosofía, la motivación y la organización de la producción se basa únicamente en los deseos del consumidor.
- **Oportuna, precisa y rápida:**

**Oportuna:** Todos los materiales y componentes deben estar en el momento adecuado durante cada fase del proceso.

**Precisa:** Todos los aspectos relacionados con el producto de todos los departamentos

debe ser preciso para evitar errores; desde la información y el almacenaje hasta el reparto de todos los elementos.

**Rapidez:** Se debe dar una respuesta rápida a las demandas de elementos, de forma que hay que reducir el tiempo en el transporte de material.

- **Informatización:** Para poder transmitir la información de forma rápida y efectiva es necesario tener un sistema informático en todos los departamentos.

Sin la informatización, la disponibilidad de la información y la asignación apropiada de todos los recursos sería imposible entender el concepto de *Lean Logistics* [14].

En los años 80, como resultado de aplicar la metodología de *Lean Logistics* se desarrolló el concepto *Just-in-Time* (JIT). La finalidad de éste se basa en [15]:

- Reducir el inventario, tanto de entrada como de salida, para reducir costes.
- Agilizar todo el proceso productivo reduciendo los tiempos de espera, de fabricación y de entrega a los clientes para reaccionar de forma rápida a la demanda del consumidor.
- Utilizar un sistema integral de calidad para identificar cualquier problema y resolverlo de forma efectiva[15].

De forma paralela, se diseñó el sistema **KANBAN**. Éste es un término japonés que se traduce como tarjeta y se utiliza para referirse a una técnica que combina el flujo de producción con la extracción de material del almacén a partir de tarjetas KANBAN[7]. Se puede ver un ejemplo de una tarjeta KANBAN en la figura 1. Cuando un operario necesita algún componente de la estación de trabajo anterior, o del almacén, éste utiliza una tarjeta KANBAN para comunicar esta demanda. Esto permite asegurar que todo movimiento de materiales dentro de la fábrica es autorizado y además posibilita la trazabilidad de todos los componentes para así identificar más rápido la fuente de cualquier problema. El objetivo de este sistema es eliminar los cuellos de botella en la línea de producción y evitar una acumulación de material a la espera de ser manufacturado [7]. Existen 2 tipos de tarjetas KANBAN:

- **KANBAN de transporte:** En estas tarjetas se especifica la cantidad de material que se necesita y se debe retirar de la estación de trabajo predecesora (o almacén). Las tarjetas únicamente circulan entre las zonas que producen los componentes y las zonas de trabajo que los necesitan.
- **KANBAN de fabricación:** Al retirar producto acabado de una estación se generan nuevas tarjetas de fabricación con la cantidad que debe elaborar la estación de trabajo.

Cualquier tarjeta KANBAN tiene que incluir: el código y descripción del material requerido, el proveedor (tanto si es externo como interno), número de identificación de la tarjeta y la cantidad de material necesario. En general se establece una cantidad estándar para facilitar el proceso.

Actualmente se está produciendo la 4ª revolución industrial[13]. Gracias a que los avances tecnológicos de la última década han impulsado una transformación digital, ahora prácticamente todos los componentes electrónicos están conectados. Nuevas tecnologías han surgido, como: IoT (*Internet of Things*), AI (*Artificial Intelligence*), la nanotecnología, manufactura aditiva, *machi-*

Descripción de producto				ID de producto	
<b>Tarjeta Kanban</b>				<b>1/3</b>	
Cantidad	250	Lead time	6 días	Fecha de pedido	
Proveedor	Soluciones Industriales SA			Fecha de entrega	
Solicitado por	J. Pérez		Tarjeta 2 de 3		
			Ubicación	Estantería R8	

Figura 1: Ejemplo de una tarjeta KANBAN

*ne learning, Big Data*, que han centrado el foco de la industria en obtener información y sacar provecho de ella. Esta revolución industrial lleva consigo una revolución logística. La *Logística 4.0* toma el concepto de Gestión de Cadena de Suministro (*Supply Chain Management - SCM*) y lo lleva al siguiente nivel: **Gestión de Cadena de Valor** (*Value Chain Management - VCM*) [4]. Ahora se tiene en cuenta toda la vida del producto, intentando crear y añadir valor desde el proveedor hasta el consumidor final. El foco del mercado se centra en atraer al consumidor final y no al comprador. No solo pensando en el valor añadido del producto, sino en la experiencia del consumidor y su calidad percibida [4, 16]. En el cuadro 1.

Gestión de Cadena de Valor	
Foco del mercado	Consumidor
Foco de las operaciones	Flujo de valor
Objetivo a maximizar	Valor percibido por el consumidor
Alcance	Nivel macro

Cuadro 1: Resumen características de Gestión de Cadena de Valor [4]

A diferencia del *Lean Logistics* que intenta prever la demanda del mercado, la *Logística 4.0* busca prever las necesidades. Para conseguirlo puede que sea necesario cambiar la relación con los proveedores, tanto externos como internos. Esta necesidad, junto a la alta conectividad digital, lleva a la posible externalización del proceso logístico y el almacenaje [4, 17]. Esta metodología se conoce como **3PL** y **4PL**, del término inglés *Third-Party-Logistics* y *Fourth-Party-Logistics*. Empresas especializadas en proveer funciones logísticas permiten a cualquier negocio aplicar la técnica de Gestión de Cadena de Valor; para así responder a la demanda rápidamente sin tener problemas de falta o exceso de recursos y capacidad [17]. Las empresas 3PL se integran en la producción del cliente ahorrándole procesos y espacio de almacenaje. En cambio, las empresas 4PL tienen una visión global sobre todo el proceso del producto y el mercado, integrando la Gestión de Cadena de Valor [17, 18, 11].

El último avance en la *Logística 4.0* es la **Logística Inteligente**. Este término hace referencia a un sistema logístico basado en la informatización de todos los datos. Este sistema consta de 4 capas [19, 11] (se puede ver un esquema de su arquitectura en la figura 2):

- **Capa interactiva receptora:** Responsable de detectar, recopilar y procesar información. Gracias al uso de estas interfaces por parte del personal y de las siguientes tecnologías se

puede hacer seguimiento y control de toda la mercancía y productos:

- Código de barras,
  - Procesado e identificación inteligente de imágenes,
  - Sensor de Radio Frecuencia (*RFID*),
  - GPS,
  - Sistema de Identificación Automática (*AIS*).
- **Capa de red:** Canal para el intercambio y transmisión de información y datos. Esta capa utiliza una combinación de tecnologías:
- Internet,
  - Red de Área Local (*LAN*),
  - Red de comunicación inalámbrica,
  - *IoT* (*Internet of Things*).
- **Capa de servicios de aplicaciones:** Esta capa se encarga de proporcionar la información requerida por los diferentes departamentos. Está conformada por los servicios del sistema de encapsulación. El objetivo de esta capa es permitir el intercambio electrónico de datos. Se dedica a adecuar la información que viene de Internet para poder incluirla en la base de datos y viceversa. Las principales tecnologías utilizadas incluyen:
- *Cloud calculation*,
  - Recuperación de información,
  - Protección de seguridad de la información.
- **Capa de servicio de datos:** La última capa agrupa multitud de información que está almacenada en diferentes bases de datos según las funciones de las aplicaciones. Las diferentes bases de datos son:
- Base de datos de información de etiquetas,
  - Base de datos de información básica,
  - Metodologías de procesos de negocios,
  - Registro de procesos de negocios.

Este sistema logístico inteligente lleva a un modelo de *Intelligent Manufacturing* basado en la automatización de la producción. Para conseguir la máxima eficiencia operativa en las líneas de producción es necesario un sistema logístico que maximice [20]: **la reposición de productos** y la sincronización de múltiples líneas de producción, de producciones distintas; todo esto ajustando la cantidad de producto acabado y la capacidad de producción.

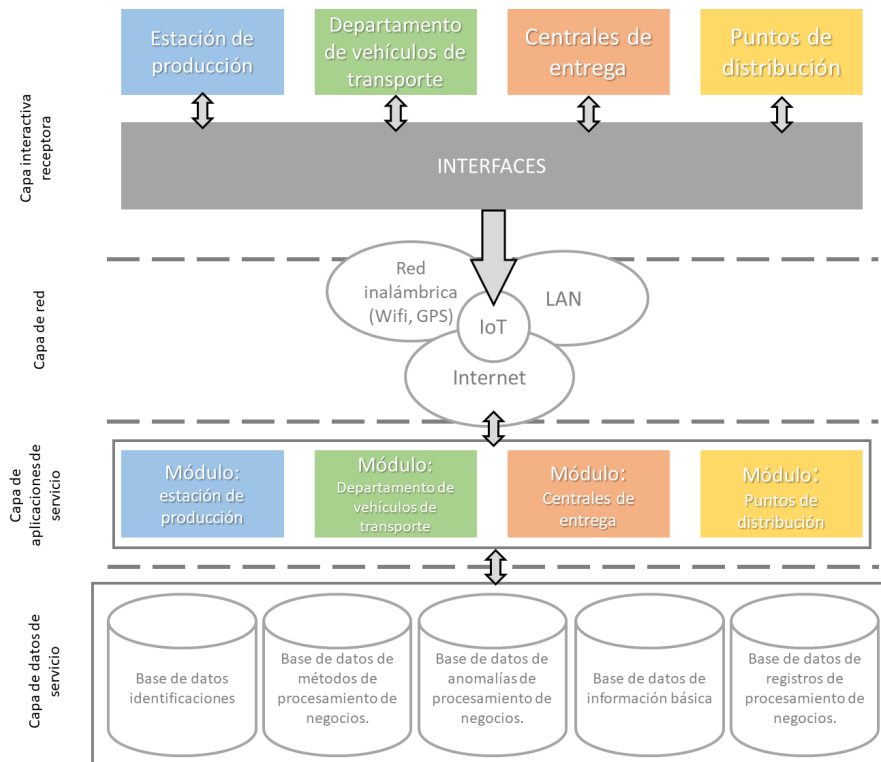


Figura 2: Diagrama de la estructura de un sistema logístico inteligente

El AGV (*Automated Guided Vehicle*) es un componente esencial del sistema logístico inteligente; ya que proporciona una alta eficiencia y una gran capacidad. Estos generalmente se utilizan para sustituir a los trabajadores que transportan material con las carretillas. En países donde la mano de obra es cara, se mejoran los costes al aplicar esta solución[20]. Los primeros sistemas AGV aparecieron en los años 50 en Estados Unidos; y básicamente consistía en una carretilla que seguía un raíl. Después de la 3a revolución industrial, en los años 70, se comenzó a usar en Europa y en Japón en el sector automovilístico. La tecnología de éstos era simple y no estaba conectado con otros sistemas de la fábrica. Ahora, con la *logística inteligente*, los AGVs pueden estar conectados con muchos más elementos y sistemas de la fábrica; lo que permite muchas más aplicaciones [21]. Además de transportar material, los AGVs consiguen agilizar toda la línea de producción transportando también producto acabado o semi-acabado. Los AGVs permiten liberar espacio dentro de la fábrica, ya que sustituyen a las cintas transportadoras fijas. Con este cambio se puede acumular el stock de una forma más eficiente. Además, los AGVs también se pueden usar como estaciones de trabajo móviles, muy útiles para las líneas de montaje. Las características principales de un sistema de AGV son[21]:

- **Tecnicidad:** Los AGV tienen buenas características técnicas: Capacidad de auto-orientación, alta precisión de posicionamiento, y otras tecnologías avanzadas.
- **Flexibilidad:** Pueden integrarse fácilmente en todos los aspectos de la línea de producción; desde la materia prima, hasta el producto acabado, pasando por cualquier línea de montaje.
- **Fiabilidad:** El funcionamiento del AGV se basa en la comunicación con el sistema infor-

mático que procesa los datos en todo momento. Permite eliminar el error humano, lo que garantiza una alta fiabilidad.

- **Compatibilidad:** El sistema AGV puede ser muy modular y estar compuesto de una flota de AGVs compleja. Además, el sistema de control puede combinarse y adaptarse a otros sistemas ya existentes en las industrias.
- **Seguridad:** Integran métodos de gestión del tráfico, prevención de colisiones, advertencias de varios tipos y frenados de emergencia que posibilitan realizar tareas que para una persona serían arriesgadas.
- **Económico:** El uso de los AGV pueden maximizar la eficiencia del sistema logístico mejorando la producción y reduciendo gastos innecesarios. A medio y largo plazo supone una mejora de costes significativa.
- **Progresividad:** La implantación de AGV es un símbolo de progreso tecnológico. Adicionalmente, se producirá una mejora en el sistema de gestión e incluso en la infraestructura física y electrónica de la empresa.

Más adelante, en el apartado [4.3](#), se explicarán en detalle todas las características de un AGV.

En resumen, la finalidad de esta última revolución industrial que está ocurriendo actualmente es organizar la producción de una forma más eficiente y utilizando todos los recursos al alcance. Para sacar todo el provecho de una logística inteligente es muy conveniente el uso del AGV; ya que éste permite agilizar todo el proceso de la línea productiva, desde la materia prima, hasta el producto acabado[[22](#)].





## 4. Fase de Análisis

### 4.1. Fábrica

Este trabajo trata de valorar un nuevo procedimiento logístico en una unidad productiva industrial concreta. Tal y como se ha comentado en el Prefacio (apartado 2) esto implica que se debe tener en cuenta cómo se resuelve actualmente el problema para así conseguir aprovechar el mayor número de elementos y sistemas ya implantados. A continuación, se hace una descripción del modelo actual de transporte de materiales y se especifican los elementos que se desean mantener.

#### 4.1.1. Plano

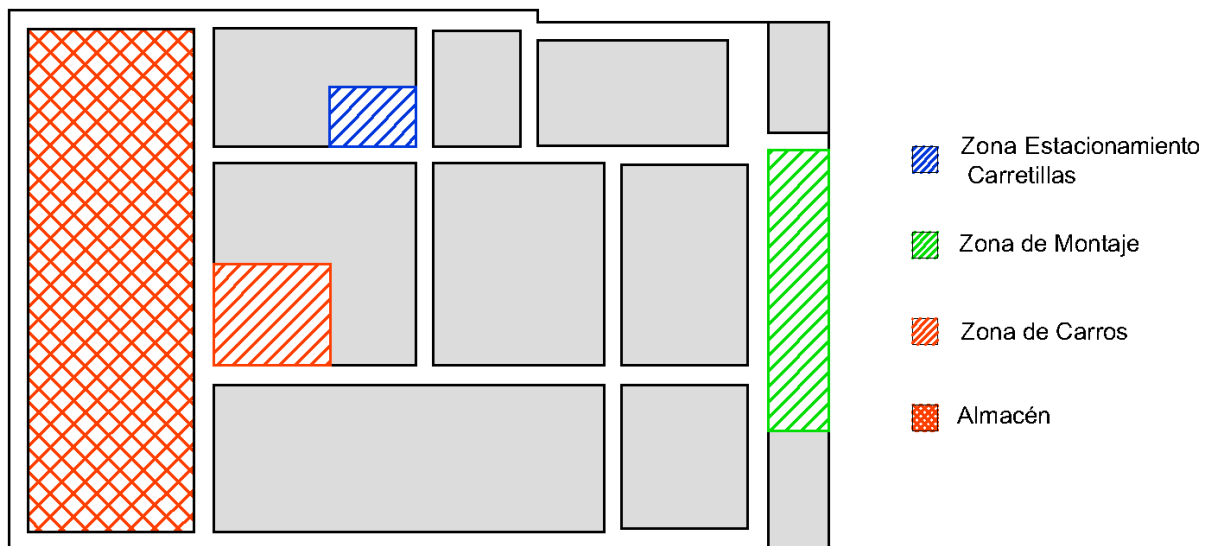


Figura 3: Esquema de la planta de la fábrica

En el plano (fig.3) se pueden apreciar las diferentes zonas implicadas en la operación de transporte. En la zona de almacén, marcada en color naranja, existe un área específica donde están guardados todos los carros de material (indicado en el plano (fig.3)(Zona de carros)). En este espacio se colocan tanto los carros llenos como los vacíos. Esta organización es cómoda para los operarios del almacén, ya que pueden revisar si los carros están preparados, o no, y encontrar fácilmente los que se deben transportar. La carretilla que transporta los carros cuando no se está usando se guarda en la zona de estacionamiento (indicado en el plano (fig.3) en azul). El área marcada en color verde es la zona de montaje. Ésta es la zona donde los operarios necesitan los componentes y donde se llevan los carros llenos para que puedan ser usados.

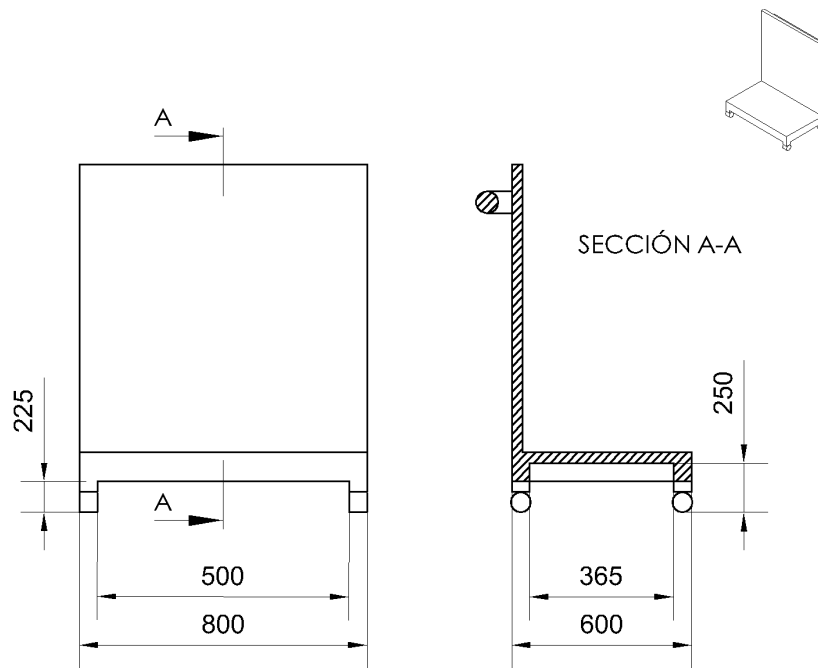


Figura 4: Plano esquemático con cotas de los carros

#### 4.1.2. Carros y carretilla

Para que los operarios de montaje puedan tener un acceso rápido y fácil al material, y éste se pueda transportar de la forma más efectiva, se usan unos carros diseñados a medida. Éstos (fig.4) son de la marca KAISER+KRAFT y tienen una base de  $0,48m^2$  ( $800mm \times 600mm$ ). A las barras que forman la estructura van unidas 4 ruedas libres que pueden girar  $360^\circ$ . La base es una placa plana de metal y el panel vertical es una rejilla metálica. Este diseño permite transportar una gran variedad de componentes. Se pueden colocar los materiales voluminosos en el suelo del carro y los componentes más pequeños en cajas que van colgadas en la rejilla. El peso del carro, más toda la carga que es capaz de transportar, puede llegar a  $250kg$ .

La base de los carros está elevada  $250mm$  del suelo pero la altura máxima de la estructura, por donde podría pasar una máquina, serían  $225mm$  (fig.4). Para que los operarios, tanto del almacén como de montaje, puedan mover fácilmente y manualmente los carros, estos tienen un asidero que ocupa todo su ancho.

Como interesa que el transporte lleve el menor tiempo posible, se utiliza una carretilla eléctrica. Para poder transportar más de un carro a la vez se utiliza un adaptador **E-frame** de la misma marca que la carretilla (STILL)[23]. Cada adaptador puede llevar hasta  $1000kg$  y pesa  $250kg$  (fig.5).

La carretilla de la marca STILL es un tractor eléctrico que permite arrastrar cargas de forma directa o mediante los adaptadores. El modelo usado es LTX-50 (fig.5) y puede transportar una carga de hasta  $5000kg$  con una velocidad máxima de  $14km/h$  [24]. La carretilla tiene conectados 3 adaptadores; por lo tanto en 1 viaje puede llevar hasta 3 carros.

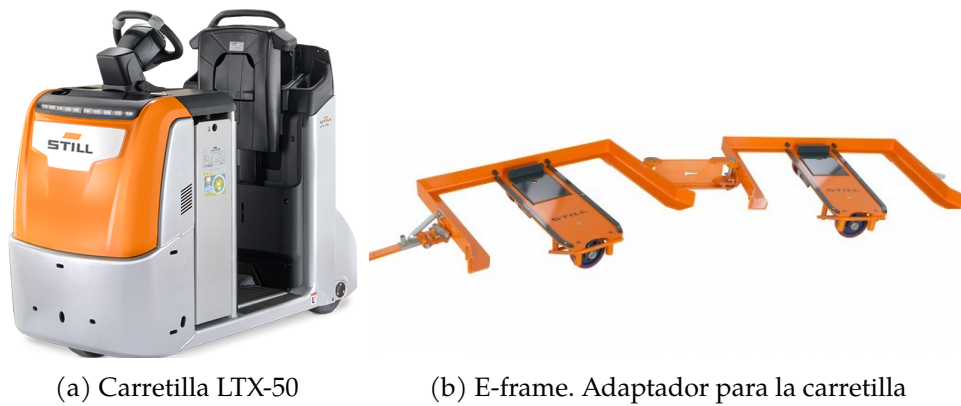


Figura 5: Carretillas AGV

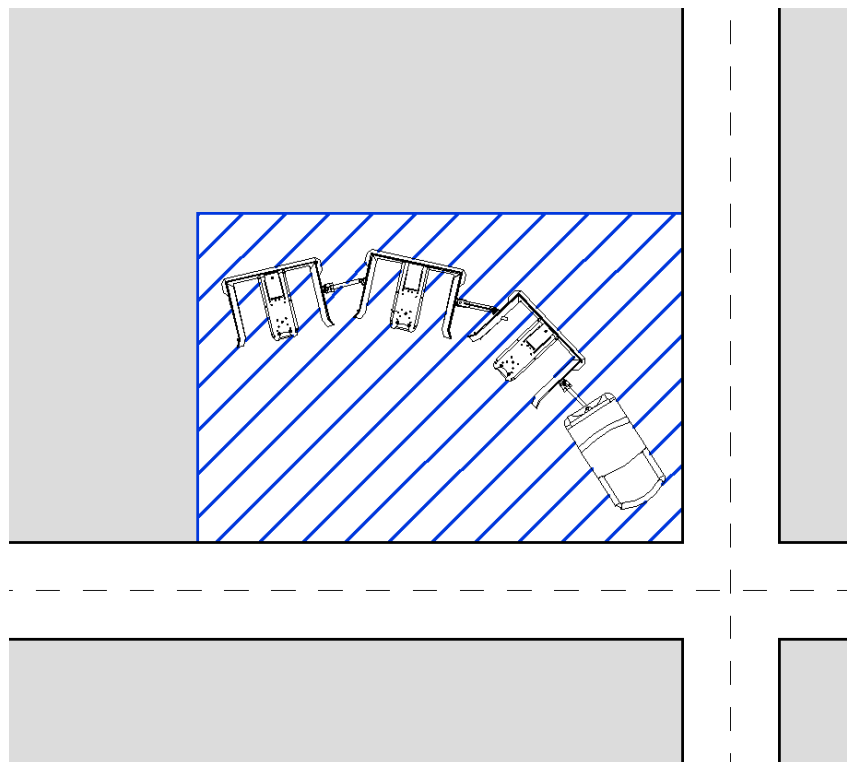


Figura 6: Plano esquemático de la zona de estacionamiento de la carretilla

Hace falta considerar que la carretilla transportadora con los adaptadores no está en funcionamiento constantemente. Eso implica que existe un espacio, también adyacente al almacén, donde se guarda la carretilla. Este espacio tiene un área alrededor de  $70m^2$  y en su estado actual no se puede conseguir un mayor rendimiento (fig.3 en azul y fig. 6)

#### 4.1.3. Almacén

El almacén tiene varias zonas diferenciadas según lo que se esté almacenando. Para este proyecto solo nos interesan las zonas donde se estacionan los carros. Dentro de este área hay que

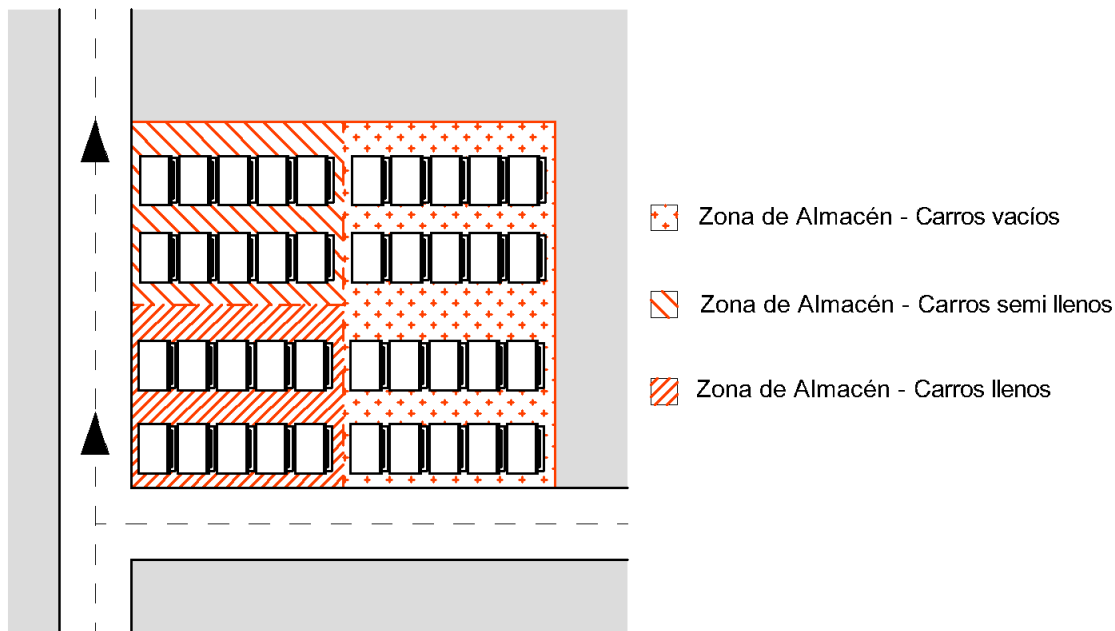


Figura 7: Plano esquemático de la zona de estacionamiento de los carros

diferenciar 3 tipos de subzonas según el estado de preparación del carro. En la figura 7 se ven diferenciadas las 3 secciones.

- **Zona de Carros vacíos:** Este área se localiza en el extremo derecho de la misma zona. Se sitúa en la parte más alejada de la zona de almacén donde se encuentran los operarios. Tiene conexión con el pasillo por la parte inferior.
- **Zona de Carros semi-llenos:** Los carros en preparación se sitúan en el extremo izquierdo, la parte más cercana al almacén. En este caso solo hay conexión con el pasillo del almacén por un lateral.
- **Zona de Carros llenos:** Una vez los carros están completos se colocan en la esquina; de esta forma los carros se pueden asir rápidamente.

#### 4.1.4. Montaje

Dentro de las zonas de montaje existen 2 secciones de trabajo, cada una tiene un área donde se estacionan los carros que se usarán próximamente. Tal y como se ha comentado en el apartado 3.1, la zona donde se encuentran los carros es grande debido a que es necesario guardar varios que no se van a usar hasta dentro de un tiempo. Este periodo puede variar desde unas pocas horas hasta 2 días. Actualmente, toda la zona de montaje ocupa un área de aproximadamente  $230m^2$ . Cada sección se divide a la vez en dos zonas: la de producción y la de almacenaje de carros. La primera es el área de trabajo de los operarios. Incluye el espacio de la mesa de trabajo y la superficie para un carro con el material empleado para la tarea. Esta zona está predefinida y no se podrá modificar en este proyecto. En cambio, la zona de carros sí que se valorará; ya que

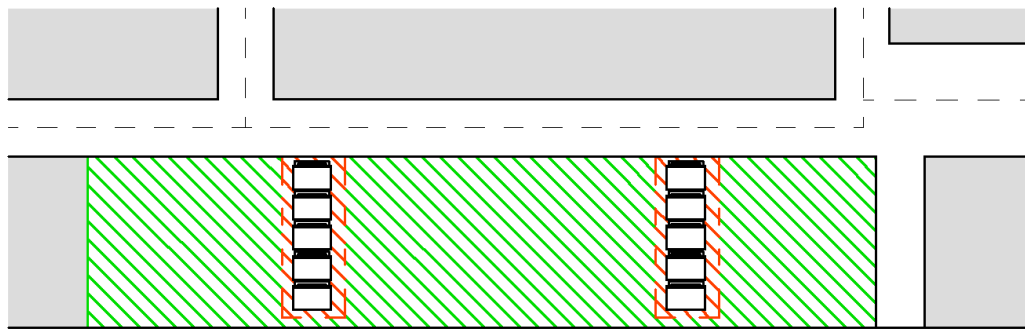


Figura 8: Plano esquemático de la zona de carros dentro de la zona montaje

uno de los objetivos del proyecto es reducir este espacio. Se logrará así aprovechar de forma más efectiva la superficie productiva. Este espacio guarda entre 8 y 10 carros dependiendo de la producción. Toda el área destinada a guardar estos carros ocupa aproximadamente  $5m^2$ . Se puede ver una representación esquemática del espacio en la figura 8 donde se muestra toda la zona de montaje y la zona específica para guardar carros (área naranja).

#### 4.1.5. Pasillos

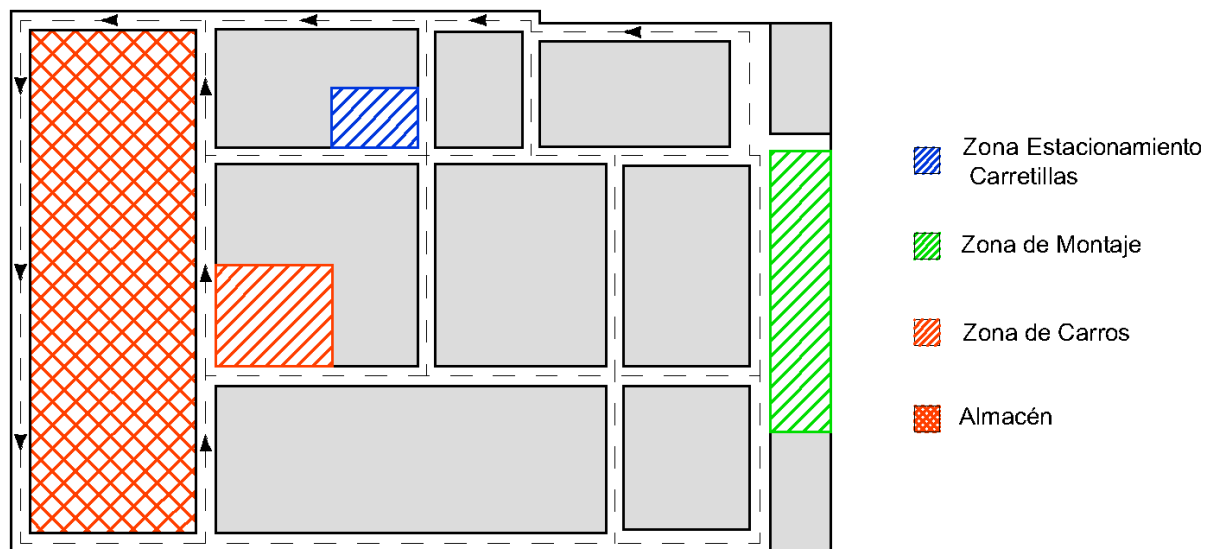


Figura 9: Esquema de la planta de la fábrica

En el plano de la fábrica (fig. 9) se puede apreciar la separación entre las zonas de almacén y montaje. Existe un trayecto por los pasillos de la fábrica por donde se mueve la carretilla tirando de los carros que conecta las dos zonas. Aunque la mayoría de los pasillos son bidireccionales, hay varios pasillos críticos unidireccionales. Los pasillos que rodean la zona del almacén solo tienen una dirección y eso obliga a la carretilla a hacer un recorrido más largo para recoger los carros. Todos los pasillos tienen una anchura mínima de  $2m$ .

La carretilla transportadora siempre la conduce el mismo operario. Éste realiza una ruta cerrada saliendo de la zona de estacionamiento hacia a la zona de carros, los carga en los adaptadores de la carretilla y se dirige a la zona de montaje. Allí cambia los carros llenos por los vacíos. Estos últimos los traslada de vuelta a la zona de carros del almacén para finalmente volver a guardar la carretilla. Aunque no existe una ruta prefijada, como sólo hay un operario, siempre utiliza el mismo camino. El operario tarda en preparar la carretilla *15min* aproximadamente, ya que debe identificar los carros, moverlos al pasillo y montarlos en la carretilla. El viaje entre la zona de carros y la zona de montaje conlleva *10min*. Aunque parece un trayecto corto (100m aproximadamente) hay que tener en cuenta las intersecciones. En varios puntos de la ruta se encuentra a otros trabajadores y debe pararse, retrasando el transporte. La duración de *10min* de viaje incluye también el tiempo para descargar los carros llenos y cargar los vacíos en la zona de montaje. Para el viaje de vuelta se pueden considerar otros *10min*. El operario tiene que descargar los carros libres e ir a la zona de estacionamiento. Por tanto, un viaje completo requiere *35min* del operario. De media, se realizan entre 5 y 6 viajes al día con la carretilla al completo. Todo esto implica que se transportan entre 15 y 18 carros al día comprometiendo *210min* de trabajo al operario.

Todos los pasillos son peatonales; debido a lo cual, cuando se transportan los carros, el operario debe ser cuidadoso y vigilar en las intersecciones por si hubiera algún otro vehículo o empleado.

#### 4.1.6. Descripción logística

En el caso de estudio se requiere renovar la logística mediante las nuevas tecnologías. Actualmente se está usando el sistema KANBAN para el transporte de componentes a las líneas de montaje. Este método, tal y como se ha explicado en el apartado 3.4, se originó en los años 80 y permite que todo movimiento de material quede anotado. En la unidad industrial de estudio, los operarios de montaje generan unas KANBAN de transporte con un listado de material requerido que se envían al almacén. Desde allí, los trabajadores preparan y entregan los componentes solicitados

Paralelamente, en la fábrica se utiliza en prácticamente todos los procesos el MES (*Manufacturing Execution System*). Este sistema es una herramienta de gestión y de control de producción industrial que permite la automatización a todos los niveles de la fábrica. Para poder aplicar correctamente un sistema de Gestión de Cadena de Valor (apartado 3.4) es necesario instalar en todas las secciones de la fábrica un mecanismo de control automático. El sistema MES es una aplicación software que sigue la estructura de la logística inteligente (apartado 3.4) y registra información de [25, 26]:

- **Datos básicos de los materiales:** materia prima, componentes, producto semi-acabado y producto acabado.
- **Existencias:** Cantidades de materiales por ubicación de almacenamiento y registro de lotes.
- **Equipamiento y maquinaria:** Información de situación, capacidades y de uso en el proceso.
- **Ordenes de producción:** Producto, cantidad, características, equipo y fecha de vencimiento.

to.

- **Calidad:** Órdenes y planes de inspección.
- **Recetas:** Listados de materiales y procedimientos.

Las principales funciones del sistema MES son:

- **Gestión de Material:** Para controlar tanto la entrada de materia prima como la salida de bienes, el sistema MES es capaz de proporcionar información sobre la situación de dicho material. Se puede conocer tanto la localización como la cantidad. Esto permite la trazabilidad de cualquier material, que es útil para el control de calidad; además de poder controlar el inventario de forma automática y rápida.
- **Planificación de Producción:** MES proporciona un calendario productivo según la demanda y las restricciones de la maquinaria y el inventario, intentando optimizar el uso de los recursos. Éste genera un diagrama de Gantt (glosario 1) interactivo en el cual se realizan las comprobaciones sobre el cumplimiento de la producción. Esto facilita los cálculos sobre el coste de la manufactura. También permite minimizar los tiempos de espera, de inactividad y de preparación de todos los equipos y procesos.
- **Gestión de Calidad:** Toda entrada de material requiere una inspección desde el departamento de calidad. Adicionalmente, los bienes acabados deben salir con el estándar de la empresa. Por todo eso, el sistema MES tiene un control de calidad con el cual bloquea la salida o entrada de material o componentes si no se alcanzan los niveles estándar.
- **Registro de Productos o Lotes:** Para conectar información con producto es necesario asignar un código de identificación a cada lote o componente procesado. Esta función está presente en todos los departamentos de la fábrica y posibilita el registro de todos los procesos. Desde cualquier punto se puede ver y añadir información a un elemento. Toda esta documentación se almacena en una base de datos externa y está disponible para otras funcionalidades del MES. La informatización de todos los datos permite que sean accesibles por todos los trabajadores.

En el caso de estudio, el sistema KANBAN no está integrado de forma automática dentro del sistema MES. Los operarios del almacén registran de forma manual el material que se desplaza y que posteriormente se emplea en la cadena de montaje. Pero en el MES no queda reflejada la orden de transporte de material, ni está automatizada según las ordenes de producción.

## 4.2. Análisis Económico

Es necesario valorar la situación económica actual para poder decidir si la implantación de un sistema AGV sería mejor. Tal como se ha comentado en el apartado 2.1, para maximizar los beneficios de cualquier producción industrial se deben incrementar los ingresos y/o reducir los costes. Debido a que el almacenaje y movimiento de componentes no aporta ningún valor añadido al producto final, no se pueden incrementar los ingresos mediante su optimización. Por tanto, sólo se tendrán en cuenta los costes a la hora de hacer el análisis económico. Para este proyecto, sólo se consideran costes que variarían una vez se hubiera implementado la propuesta de AGVs.



El primer coste esencial del proceso actual que se eliminará será la carretilla y los adaptadores. La carretilla, modelo LTX-50, tiene un precio de aproximadamente 15000€ y cada adaptador E-frame 500 €, amortizados ambos en 10 años [27]. Cada uno posee también un coste variable añadido de mantenimiento. Al considerar que este coste se va a mantener similar con el sistema AGV, ya que también será eléctrico, no se cuantificará en este análisis. Un coste variable muy importante referente a la carretilla es el consumo eléctrico. Se debe recargar la batería frecuentemente para poder realizar todos los trayectos. Para el cálculo del coste eléctrico es necesario tener en cuenta los 6 viajes que realiza la carretilla; los cuales suponen 3,5 horas (apartado 4.1.5). La carretilla tiene un consumo medio de 4kW/h. La fábrica está en funcionamiento durante 250 días al año y el coste de la electricidad para una gran factoría es aproximadamente 0,15 €/kW [28]. Con estos datos, el coste del consumo eléctrico es 525 €/anuales.

$$4 \frac{kW}{h} \times 3,5 \frac{h}{da} \times 0,15 \frac{€}{kW} \times 250 \frac{días}{año} = 525 \frac{€}{año} \quad (1)$$

Otro sistema a facturar en este análisis es el modelo KANBAN actualmente instalado. El precio de éste incluye el mantenimiento del servidor y la asistencia técnica. Según el número de usuarios que utilicen la plataforma el precio puede aumentar. En el caso de estudio hay 20 trabajadores (de diferentes secciones) que tienen acceso a la aplicación. El precio anual se estima en 1500€ [29].

Un coste muy relevante de este proyecto es el correspondiente al operario. el objetivo de esta propuesta es eliminar la necesidad de intervención manual en esta operación. Se estima el sueldo de un operario de almacén en 18000€ anuales. Teniendo en cuenta que se debe pagar la cuota empresarial a la seguridad social (30 % más del sueldo bruto), significa un coste anual para la empresa de 23400€. Si el operario trabaja 221 días al año, 8 horas al día, el coste de la mano de obra es 13,24€/hora.

El tiempo que dedica en cargar, descargar y transportar se podría evitar (comentado en apartado 4.1.5). Eso supondría un ahorro diario de 3,5 horas, aproximadamente la mitad de la jornada laboral. Al final del año supondría una dedicación total de 875 horas con un coste de 11580€ aproximadamente.

$$13,24 \frac{€}{h} \times 3,5 \frac{h}{da} \times 250 \frac{das}{año} = 11580 \frac{€}{año} \quad (2)$$

Por último, señalar que se liberará cierto espacio dentro de la fábrica. Las posibles zonas donde se reducirá el espacio dedicado son: el área de carros en la zona de montaje (apartado 4.1.4) y el espacio dedicado al estacionamiento de carretillas (apartado 4.1.2). En total la superficie liberada podría llegar a ser 75m<sup>2</sup>. Cuando se implante el proyecto de AGV, este área podría dedicarse a tareas que aporten valor añadido al producto final. Aun así, cuantificar el coste de este espacio en la actualidad no es simple, ya que es un área dentro de la propia fábrica. Como el suelo está en propiedad de la misma, no sería razonable tasar el precio del suelo al no poderse vender.

En conclusión, el coste completo anual es de 15255€. Se puede ver el desglose en el cuadro 2.



	Coste Fijo	Coste variable	Coste total anual
<b>Carretilla</b>	15000 €	525 €/año	2000 €/año
<b>E-frames (3 unidades)</b>	500 × 3		150 €/año
<b>Sistema KANBAN</b>		1500 €/año	1500 €/año
<b>Operario</b>		13,2 €/h	11580,88 €/año
<b>Espacio</b>		75m <sup>2</sup>	
<b>TOTAL</b>			15255 €/año

Cuadro 2: Situación económica inicial

### 4.3. Sistema AGV

#### 4.3.1. Definición de AGV

Las siglas del Sistema AGV corresponden al acrónimo traducido del inglés de: **Vehículo de Guiado Automático** (*Automated Guided Vehicle*) [1]. El principal objetivo de este sistema es transportar mercancía de un lugar a otro sin necesidad de la intervención humana. Estos tienen diferentes niveles de complejidad y seguridad, según el entorno en el que se encuentren. Aunque existen sistemas no interactivos con el entorno, la mayoría son AGV complejos que se comunican con el entorno y los movimientos y las ordenes a realizar dependen de la complejidad de éste. Esta interacción con el ambiente puede ser tanto con las personas dentro de la planta como con las puertas y los elevadores que puedan haber.

El principal elemento de un sistema AGV es el vehículo. Éste es capaz de funcionar sin necesidad de comunicación con ninguna red externa ya que integra sistemas: de control a bordo, de avance, de navegación, de comunicación y de suministro de energía [30]. A medida que aumenta el número de vehículos dentro de un espacio o se incrementa la complejidad de los sistemas internos, como el de navegación o comunicación, es necesario instalar un controlador de flotas externo.

Este sistema de gestión integrado en un servidor se conecta mediante la red a la flota de vehículos AGV y también a:

- Pantallas o interfaces operativas donde los operarios pueden ver los datos recopilados por los sensores y modificar las rutas de los AGV.
- Sistemas de control interno de las fábricas como el MES (glosario 1).
- PLC externos, entre otros.

#### 4.3.2. Tipologías de Vehículos

De la misma manera que existe una gran variedad de carretillas transportadoras, hay multitud de AGV destinados a tareas distintas [1].



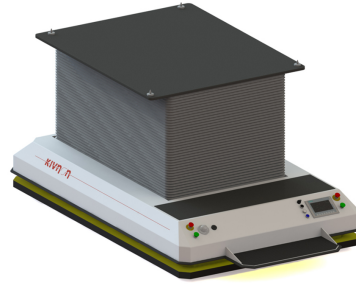
Figura 10: sistema adyacente al AGV

**AGC** *Automated Guided Carts*, también conocidos como AGV de Túnel o *Unit Load Vehicles*. En alusión al nombre, estos AGV son bajos y alargados. Gracias a su reducida altura se puede colocar debajo de la carga a transportar. Dependiendo del peso y volumen de la carga, la unión entre ésta y el AGC será diferente. Existen 2 métodos para enganchar el AGC a la carga:

- **Pin-hook:** Este tipo de unión solo permite que los AGC transporten elementos con ruedas. La conexión entre los AGC y los carros se realiza mediante la unión de unos pines en el vehículo y unos enganches preparados en la carga (figura 11a). El único trabajo del AGC es arrastrar las carretillas en la dirección del destino. Para poder utilizar este método sin inconvenientes es necesario tener unos carros con ruedas que puedan girar libremente 360°.
- **Elevación:** Este método se usa para poder transportar cargas que no tengan ruedas. En este caso, el AGC también se coloca debajo de la carga pero ahora levanta toda la plataforma superior (figura 11b). Así consigue levantar la carga la suficiente distancia para que ésta no roce el suelo. En este caso, el AGC debe ser más robusto ya que debe soportar todo el peso.

Esta clase de AGV pueden moverse de forma bidireccional y girar respecto al eje central, permitiendo una gran cantidad de movimientos y de rutas posibles por donde moverse. La carga máxima que puede transportar el AGV dependerá del modelo en concreto. Los modelos más grandes pueden arrastrar hasta 3000kg con el enganche pin-hook. La finalidad más común de este tipo de carros es el suministro de componentes a las líneas de montaje y producción, así como recoger y transportar productos terminados desde el final de línea.

**Remolque AGV** Otra tipología de AGVs son los remolcadores de carros. El funcionamiento sería el mismo que uno manual pero en este caso la carretilla transportadora está automatizada (12). Generalmente son vehículos de mayores dimensiones, ya que arrastrarán más peso. De

(a) AGC de *Pin-hook*

(b) AGC de elevación

Figura 11: AGC [1]

la misma manera que las carretillas de remolque convencionales, en las automáticas se pueden conectar varios carros entre si formando un tren. Este tipo de AGV se puede adaptar fácil y rápidamente al entorno de dentro de la fábrica si ya se usan carretillas de remolque ordinarias. La desventaja de estos vehículos aparece al preparar el tren de carretillas. Para acoplar los diferentes carros al remolque, en general, es necesario un trabajo manual. No obstante, existe un número limitado de modelos que integran un sistema similar al *pin-hook* y son capaces de hacer la conexión de forma automática. Si el enganche es complicado, o el sistema no esta suficientemente automatizado, se deben unir manualmente los carros y el AGV, al igual que los remolques entre si. Por tanto, este modelo no evitaría que un trabajador tuviera que preparar el remolque antes del transporte.

Esta clase de AGV pueden únicamente arrastrar la carga. Sólo admite movimientos en direcciones incluidas en un circuito cerrado. La carga máxima que puede llevar el AGV dependerá del modelo concreto. Los modelos más grandes pueden arrastrar hasta 13600kg. La finalidad más común de este tipo de carros es el suministro de componentes a las líneas de montaje y producción.

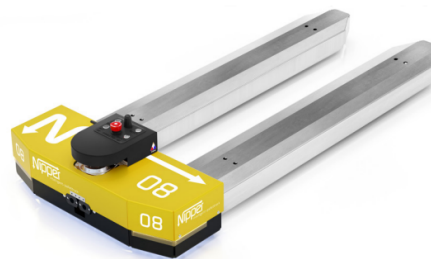


Figura 12: Remolque AGV

**Carretilla y Carretilla elevadora AGV** Estos AGVs se han diseñado transformando una carretilla común a una automatizada, que permite la auto-conducción. La carretilla AGV admite el movimiento de la carga en horizontal, igual que los vehículos anteriores. Sólo la carretilla elevadora AGV (figura 13a) puede mover la carga verticalmente una gran distancia del suelo. Esta elevación no se destina únicamente a que la carga no roce con el suelo. Este modelo también puede colocar cargas en sitios elevados, como una estantería del almacén. Dependiendo del tamaño del pallet a transportar el AGV será más grande y tendrá diferentes formas de compensar la carga para mantenerse anclado al suelo cuando se levanta la carga. Estos modelos de AGV pueden moverse en cualquier sentido y transportar cargas de hasta 2500kg.



(a) Carretilla elevadora AGV



(b) Transportador de pallets

Figura 13: Carretillas AGV

**AMR** (*Autonomous Mobile Robots*): Esta tipología de robots podría considerarse fuera de la familia de los vehículos guiados automáticamente, ya que la navegación que utilizan es sumamente diferente. Existen diferentes modelos según el tamaño de la carga. Pero normalmente se desarrollan AMR con una forma similar a los AGV puesto que pueden transportar desde cargas pequeñas, con o sin ruedas, hasta pallets (figura 14). Los AMR utilizan la técnica SLAM (*Simultaneous Localization And Mapping*). Ésta se basa principalmente en hacer un mapeado preliminar de toda la zona por donde se moverá el robot; obteniendo de esta manera un mapa electrónico con los límites y los obstáculos fijos que hay en la fábrica o almacén. A partir de éste, los AMR se pueden ubicar en cualquier lugar y pueden generar un recorrido sin necesidad de un guiado o de precisar una ruta. El mapeado de todos los pasillos permite que el AMR puede adaptar su recorrido si en algún momento hubiera cierto obstáculo en el camino. El cuadro 3 resume las diferencias entre un AGV y un AMR.



Figura 14: AMR

	AGV	AMR
<b>Guías</b>	Requiere guía física	Sin necesidad de camino
<b>Obstáculos</b>	Incapacidad de sobrepasar los obstáculos	Adapta velocidad y ruta a los obstáculos que se presenten
<b>Camino</b>	Es necesario hacer una instalación previa en el espacio que se va usar	No requiere una modificación de la infraestructura actual
<b>Ruta</b>	Sólo puede moverse por la ruta fijada	Es capaz de crear rutas y moverse de forma autónoma gracias al mapeado inicial

Cuadro 3: AGV vs AMR

#### 4.3.3. Tipologías de Guiado - AGV

Para conseguir que los AGV puedan moverse en un espacio es necesario implantar un sistema de navegación. Existen diferentes tipologías de guiados que se han ido desarrollando con la evolución tecnológica. En la mayoría de casos, antes de poder usar cualquier AGV hace falta hacer una instalación previa en los pasillos por donde se moverá el AGV.

**Filoguiado:** Se coloca un cable conductor a unos 3 cm bajo el suelo (figura 15). Este cable transmite una señal de radio que el AGV capta gracias al sensor colocado en la parte inferior. Cuando detecta la señal, el vehículo ajusta la dirección siguiendo el circuito del cable. El principal beneficio de ese tipo de guiado es la sencillez del funcionamiento. Además, al tener la guía bajo tierra se puede retrasar su deterioro. Esto también implica un coste de instalación elevado. La principal desventaja de este tipo de guiado es que la complejidad de la ruta del AGV queda completamente limitada por la colocación de las guías y éstas no son fácilmente modificables.

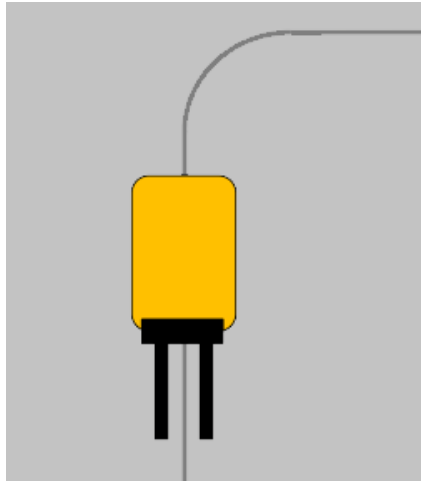


Figura 15: Filoguiado [2]

**Optoguiado:** En este tipo de guiado las guías están colocadas directamente en el suelo (figura 16). Estas son simplemente unas cintas reflectantes que definen la ruta a seguir. Al igual que en el filoguiado, el AGV tiene un sensor en la parte inferior del vehículo. Éste es un sensor catadióptrico para poder detectar la cinta. El principal beneficio de este modelo de guiado es la baja complejidad de la instalación; lo cual posibilita que cualquier modificación sea mucho más barata, rápida y sencilla que en el caso anterior.

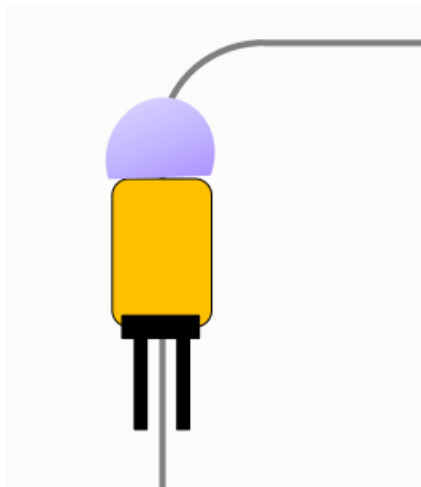


Figura 16: Optoguiado [2]

**Guiado Láser:** Para este caso los AGV necesitan sensores láser. Estos emiten rayos láser que se reflejan en postes o reflectores colocados en los laterales del camino (figura 17). A partir de la información que reciben los sensores, el AGV es capaz de triangular su posición en la ruta y el espacio para dirigirse al destino.

**Guiado magnético:** La navegación a partir de sensores magnéticos se implementa de 2 formas:

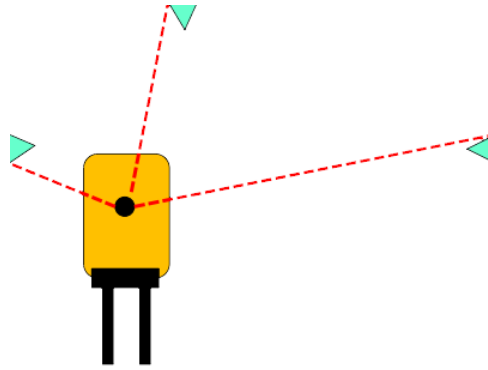
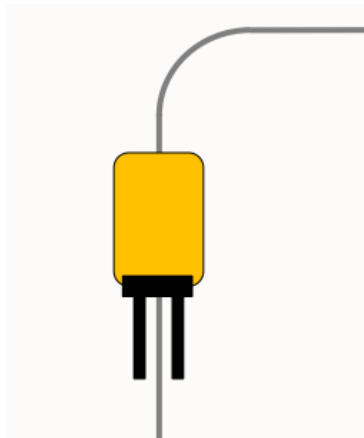
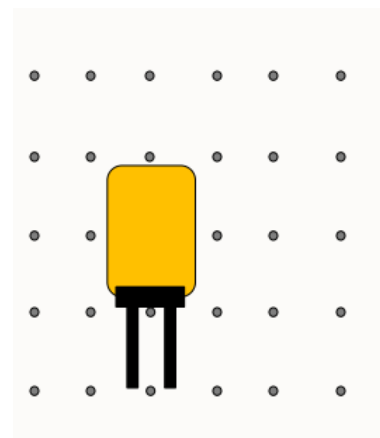


Figura 17: Guiado Láser [2]

- **Tira magnética colocada en el suelo:** Aun teniendo otro tipo de sensores el funcionamiento es equivalente al optoguiado. Por tanto, tiene las mismas desventajas. De igual manera, se puede modificar o añadir rutas con cierta facilidad ya que la guía se encuentra en la superficie del suelo (figura 18a).
- **Puntos magnéticos repartidos por toda el área por las que se pueden mover los AGV:** Para conseguir más libertad de movimiento en las rutas, se implementan los puntos magnéticos (figura 18b). El sensor del AGV detecta en qué punto está y gracias al sistema de navegación interno conoce en qué dirección debe seguir y qué punto debería detectar a continuación. De esta forma es mucho más fácil y barato cambiar rutas o incluso coordinar una gran flota de AGV sin colisiones.



(a) Cinta magnética



(b) Puntos magnéticos

Figura 18: Guiado Magnético

#### 4.3.4. Tipologías de Guiado - AMR

Los AMR (*Automated Mobile Robot*) 4.3.2: También conocidos como AGV con Navegación Natural usan un sistema de guiado conocido como **SLAM** (*Simultaneous Localization And Mapping*)

(figura 19). Esta tecnología se basa en hacer un mapeado previo de todas las zonas de trabajo. El robot genera una cuadrícula marcando los espacios ocupados por obstáculos fijos y señalando por dónde puede moverse con libertad. Una vez el AMR tiene escaneado todos los espacios podría generar por sí mismo una ruta desde el origen al destino. A partir de todos los sensores que incluye (cámaras de análisis volumétricos, sensores láser y giroscopios) logra conocer en todo momento su posición y modificar la ruta, si fuera necesario, para llegar al destino de forma completamente autónoma. Este sistema proporciona un aumento en la productividad gracias a que si detecta un impedimento en el camino puede rebasarlo y continuar con la ruta original. Esto posibilita una seguridad alta al trabajar con personas, ya que puede modificar su velocidad y ruta si percibe algún obstáculo en movimiento. Al realizar el mapeado previo al funcionamiento regular, no se necesita ninguna modificación previa en la infraestructura.

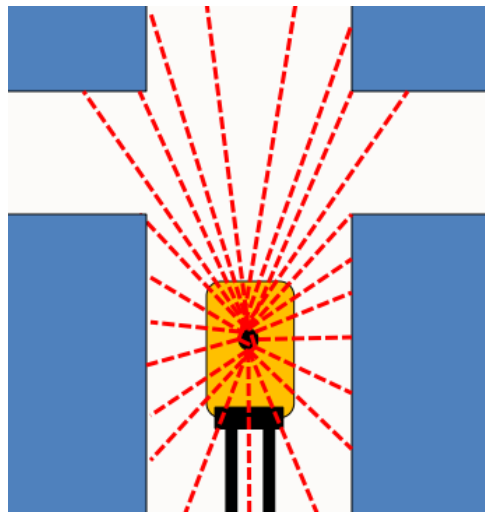


Figura 19: Navegación SLAM [2]

#### 4.3.5. Baterías y recarga

Todos los modelos de AGV o AMR funcionan con motores eléctricos y baterías recargables. No todas son iguales, ni todos los modelos tienen el mismo método de recargas.

**Baterías:** Existen varias tecnologías de baterías eléctricas. Cada tipo no va asociado a un vehículo, sino que depende del proyecto y el presupuesto del mismo.

- **Baterías de GEL y AGM [31]:** Son las baterías más comúnmente usadas en los AGVs. Aunque son diferentes, las baterías de GEL y AGM tienen bastantes características ventajosas que comparten:
  - Están completamente selladas y de forma que nunca habrá derrame de ácido.
  - Las emisiones de gases son mínimas o nulas durante la recarga. Se pueden recargar en zonas con poca ventilación.
  - No necesitan mantenimiento.



- Tienen una tasa baja de auto-descarga.
- Son muy robustas y pueden resistir un transporte no delicado.

La principal desventaja de estas baterías es que no están diseñadas para realizar cargas parciales (método descrito posteriormente como *Opportunity charging*). En consecuencia, se suelen usar en sistemas AGV donde la batería es intercambiable entre vehículos (recarga: *battery exchange*).

- **Baterías de litio [32]:** Son cada vez más usadas en los AGV ya que permiten la carga inalámbrica inductiva. Adicionalmente existen otras ventajas respecto a las baterías de GEL o AMG:

- Mayor número de ciclos de recarga que permiten alargar la vida útil de la batería.
- Mayor profundidad de descarga. Para mantener el mayor número de ciclos de vida en cualquier batería se recomienda no descargarlas completamente. Las baterías de litio permiten mantenerse en buen estado con una profundidad de descarga del 80 %.
- Mayor eficiencia de batería. En baterías de litio la eficiencia puede llegar al 95 %, lo que supone una carga más rápida.
- Mayor densidad eléctrica. En baterías del mismo tamaño, las de litio otorgan más capacidad que las de GEL.

Aun teniendo en cuenta todas las ventajas, las baterías de litio no son las más populares debido a sus desventajas:

- Requieren protección. Las baterías de litio son más inestables, lo cual implica que necesitan protección ante la sobrecarga.
  - Contaminantes. La fabricación y el final de vida de este tipo de baterías tiene más efecto contaminante que las anteriores.
  - Precio Alto. Una batería de litio es actualmente unas 5 veces más cara que una de GEL/AGM.
- **Baterías de Pure Lead [33]:** Estas baterías son una tipología avanzada de las AGM. Son las mejores baterías para realizar un gran número de cargas parciales. Las principales ventajas son:
- Capacidad de recarga rápida sin comprometer la vida útil.
  - Baterías selladas con emisiones mínimas de gases nocivos durante la recarga.
  - No necesitan mantenimiento

La principal desventaja de este tipo de baterías es el precio. Las baterías *pure lead* son más caras que las de GEL o AGM normales.

- **Baterías de plomo ácido [34]:** (FLA - *Flooded Lead-Acid*) Este tipo de baterías es el menos

usado porque necesita mucho mantenimiento y se debe recargar en un área muy bien ventilada por emitir gases nocivos durante el proceso. La ventaja de estas baterías es el precio, puesto que son las más baratas del mercado. Se utilizan para vehículos de gran tamaño como los AGV de remolque o de carretilla elevadora.

**Recarga:** Para los sistemas AGV existen 2 métodos de recarga:

- **Opportunity charging:** Este método se utiliza cuando el AGV no tiene un funcionamiento continuo. Por tanto, siempre que no tiene un destino al que moverse se dirige a la estación de recarga. El tiempo de recarga para las batería de GEL supone aproximadamente un 25 % de todo el tiempo de funcionamiento y un 10 % para las de litio. La recarga parcial es ideal para sistemas AGV que no están funcionando constantemente, como en el caso de estudio. Para sistemas en los que el AGV se mueve cerca del 100 % del tiempo se aplica la estrategia *on-line charging*. Esta consiste en utilizar más vehículos, consiguiendo así rebajar el nivel de saturación de todos los vehículos, suficiente para poder cargarlos con el método de *Opportunity charging* (figura 20) [35].



Figura 20: Estaciones de recarga de AGV

- **Battery exchange:** Esta estrategia se basa en cambiar la batería entera del AGV cuando llega a un nivel mínimo. Está pensada para AGVs que se mueven de forma continua. Las principales ventajas de este método son:
  - Baterías más económicas.
  - Funcionamiento continuo del AGV, tiempo de recarga (cambio de batería) bajo.
  - AGVs más baratos ya que no son necesarias las estaciones de carga.
  - La recarga de la batería se puede realizar de forma paralela al funcionamiento del AGV. Sólo hay que tener en cuenta que la duración de recarga sea menor al tiempo de descarga.

Las desventajas de tener que cambiar la batería:

- Se requieren más baterías que AGV y siempre tener algunas recargadas de repuesto.

- Es necesario que un operario esté libre para realizar el intercambio de baterías.
- El cambio de baterías se puede realiza con una máquina automática, pero su precio es muy elevado.

El cuadro 4 resume las características positivas y negativas de los dos métodos de recarga.

Comparativa entre los métodos de Recarga		
Características	<i>Opportunity charging</i>	<i>Battery exchange</i>
Disponibilidad de AGV	×	✓
Coste de la batería	×	✓
No baterías de repuesto	✓	×
Bajo coste del AGV	×	✓
Bajo coste de cambiar de batería	✓	×
Facilidad de cálculo de balance de energía	✓	×

Cuadro 4: *Opportunity charging vs. Battery exchange*

#### 4.3.6. Seguridad y Normativas de los AGV

Los AGVs, igual que cualquier producto, deben seguir unas reglas y normativas de seguridad. Un vehículo autónomo debe cumplir aun más normas que una carretilla común, debido a que se encuentra en un entorno donde no sólo puede haber material delicado sino también personas. La flota de vehículos AGVs incluyen varias medidas. Todos ellos incorporan elementos de seguridad pasivos como señales visuales en el vehículo, luces de advertencia y señales acústicas. También sistemas activos de seguridad como amortiguadores de contacto (figura 21 *bumper*), botones de parada de emergencia, PLC de seguridad y sistema anticolidión. Este último debe asegurar que si cualquier obstáculo, como podría ser una persona, se cruzase en el camino del AGV éste debería frenar o pararse adaptándose a la situación. Igual que los coches, los AGV tienen programada una distancia de seguridad tanto en el suelo como verticalmente. Si se detecta que entra algo dentro de esa zona, los vehículos deben detenerse instantáneamente. Esta distancia de seguridad puede variar entre 1,5m y 0,5m que depende principalmente de la velocidad a la que se mueven los AGV (figura 22). Debido a que estos sistemas anticolidión utilizan escáneres que tienen un precio elevado, se implementan amortiguadores en zonas del AGV no críticas para reducir el coste total. Los amortiguadores varían en dimensiones e integran sensores de contacto asegurando que la fuerza ejercida sobre otro objeto no se suficiente para dañarlo.

La normativa principal aplicable a los AGV en estos momentos a nivel europeo es la **UNE-EN 1525:1998** que expone las medidas de seguridad a seguir para las carretillas de manutención sin operador y sus sistemas. También es obligatorio seguir los estándares: **ISO/TS 15066:2016** que especifica los requisitos para sistemas robot industrial colaborativo como los AGV [36] y **EN 1525:1997** que expone medidas de seguridad a seguir al utilizar sistemas con carretillas sin conductor. Existen también otras normativas que se pueden usar como referencia. Por ejemplo: **ANSI/ITSDF B56.5-2019** "Vehículos Industriales Guiados" se aplica a nivel Estadounidense. Adicionalmente, hay que tener en cuenta las normativas eléctricas ya que integran muchos componentes electrónicos como sensores, baterías y motores. Para ello hay que seguir la norma

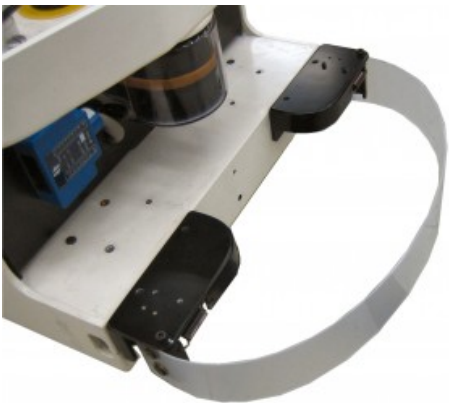


Figura 21: Bumper [3]

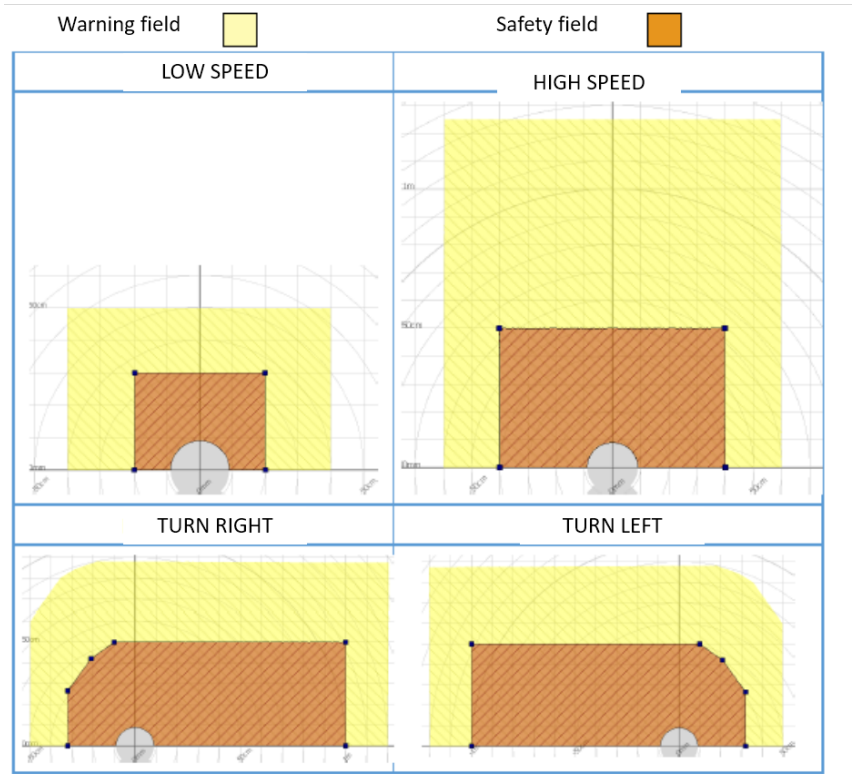


Figura 22: Área de impacto [3]

IEC 61508 sobre la seguridad funcional aplicable a todos los sistemas de sectores industriales [36].

## 5. Fase de Diseño

### 5.1. Criterios de Selección

Tal como se ha explicado en el apartado 3.2, el objetivo del proyecto es encontrar el sistema AGV más adecuado para la fábrica. Por eso es necesario definir los criterios de selección de AGV específicos a partir del cual se determinará la mejor solución. Siguiendo los requerimientos previos definidos (apartado 2.2), a continuación se puntualizan y justifican los criterios:

- **Mínimo Coste:** Toda empresa busca maximizar sus beneficios (apartado 2.1), por tanto interesa que el coste del AGV sea mínimo.
- **Uso de carros actuales:** Al querer minimizar el coste de implantación de los AGVs, el cliente del proyecto desea mantener los carros de materiales actuales 4.1.2. Además, eso supone que los operarios del almacén y de la zona de montaje apreciarán mínimos cambios.
- **Método de sujeción:** Al mantener los carros hay que tener en cuenta cómo se puede enlazar el AGV a la carga. Igual que se transportan en la actualidad estos carros pueden ser arrastrados. Por lo tanto, se podría usar un AGV tipo remolque. Al disponer de ruedas de giro 360º y un espacio en la parte inferior se podrían utilizar también un modelo AGC y de igual modo los AMR. Por eso, queda evidente que un AGV carretilla elevadora no sería útil en este caso.
- **Peso:** De cada tipología de AGV existen diferentes modelos con especificaciones ligeramente distintas. Una característica muy importante es la carga máxima que pueden llevar los AGV, ya que esta debe incluir el peso de los carros. El peso de un carro lleno puede llegar a 250kg.
- **Tamaño:** De la misma manera que hay que encontrar un modelo que pueda soportar el peso, también es necesario buscar el modelo que tenga las medidas adecuadas para poder transportar los carros. En este caso no se puede determinar el criterio con más exactitud ya que los tamaños pueden variar mucho según la tipología de AGV seleccionada (apartado 4.1.2).
  - Si se seleccionara un **AGC o AMR** hay que tener en cuenta que pasará por debajo del carro y por tanto la altura debe ser menor a 225mm y el ancho menor a 500mm.
  - Si se escoge un AGV de remolque sólo habría que fijarse que la conexión con los E-frames actuales sea la adecuada. Pero si se utilizaran este tipo de AGV habría un operario dedicado a preparar y descargar el reparto del AGV. Por tanto, este tipo de AGV queda descartado de la posible selección.
- **Adaptación a pasillos actuales:** Como el AGV debe moverse por los pasillos preestablecidos y no podemos cambiarlos, el tamaño del mismo debe ser adecuado para el área industrial. Esto implica que el **ancho** del AGV y su **área de giro** debe ser menor al ancho del pasillo: 2m. Así podrá moverse sin problemas y esquivar los posibles obstáculos que surjan.
- **Personas:** En los mismos pasillos 4.1.5 también se desplazan los trabajadores. Por lo tanto

el diseño del AGV debe incluir la posibilidad de encontrarse con obstáculos móviles. De igual manera, deben mantener la distancia de seguridad para evitar todos los accidentes.

- **Estacionamiento de AGV:** Al incorporar nuevos elementos en la fábrica hay que prever dónde se van a poder guardar los AGV cuando no estén en uso. Siguiendo los Requerimientos previos (2.2) el área de cada zona no es modificable. Por eso, es necesario encontrar una flota de AGVs que pueda estacionarse en el espacio actual,  $70m^2$  de área 4.1.3
- **Conexión sistema red:** Para determinar el funcionamiento de la solución hay que tener en cuenta que la conexión de los AGVs debe adaptarse al sistema actual de MES. Aunque eso conlleve la modificación del método actualmente en uso.

Criterio de selección	Valor
Tipo de AGV	AMR o AGC
Carga	$250kg$
Ancho	$< 500mm$
Altura	$< 225mm$
Radio de Giro	$< 2m$
Área de flota total	$\leq 70m^2$
Respuesta obstáculos móviles	SI
Conexión con sistema MES	SI

Cuadro 5: Resumen: criterios de selección

## 5.2. Selección de AGVs

En este apartado se explicarán brevemente los posibles proveedores de AGV que existen en el mercado con modelos válidos para el proyecto. Por último, se muestra un cuadro resumen con las características técnicas relevantes para los criterios de selección [37].

### 5.2.1. Activespace automation

*Activespace automation* es una pequeña empresa portuguesa fabricante de AGVs. Se especializa en pocos modelos con posibles complementos que permiten diferentes utilidades. El modelo principal es **activeONE**, un AGC bidireccional con posibilidad de configuración con *Pin-hook* o por elevación. También se puede escoger entre la tipología de guiado de cinta magnética o SLAM [38] (figura 23).

### 5.2.2. Aichikikai techno system

*Aichikikai* es una empresa japonesa con una gran variedad de AGVs. El modelo que cumpliría con los criterios de selección es **CarryBee - Super Low type**, un AGC unidireccional con posibilidad de configurar el guiado: cinta magnética o cinta óptica [39].



(a) activeONE con *Pin-hook*

(b) activeONE con elevación

Figura 23: Modelos de AMR con y sin módulo

### 5.2.3. AutoGuide Mobile Robots

*AutoGuide Mobile Robots* es una empresa que se centra en AMRs. El modelo que cumpliría con los criterios de selección es **MYLO Low-Profile**, un tipo AGC bidireccional con sistema de elevación [40].

### 5.2.4. DS Automotion

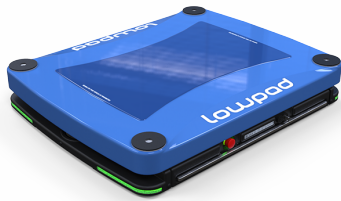
*DS Automotion* es una empresa alemana con 35 años de experiencia diseñando AGVs. Tienen una gran variedad de soluciones, útiles para muchos campos. De entre todos, el modelo con una altura adecuada es **OSCAR omni**, un tipo AGC omnidireccional con sistema de elevación con una carrera de 80mm a 120mm y carga por *opportunity charging*. [41]

### 5.2.5. Lowpad

*Lowpad* es parte de la compañía Eurotec y se dedica a diferentes soluciones logísticas. Se especializa en AGV de tamaño lo más reducido posible para llevar una carga. Existen diferentes modelos que servirían para el caso en cuestión. El modelo **Lowpad M** tiene una altura de 128mm lo cual sería ideal para entrar debajo del carro pero tiene una anchura de 665mm, demasiado amplia para el carro. El modelo que podría valer es **Lowpad S**. Éste tiene una forma similar a un AGV de carretilla pero en realidad trabaja como un AGC por elevación [42] (figura 24).

### 5.2.6. Geek+

Geek+ es una compañía global especializada en logística inteligente mediante el uso de robots e inteligencia artificial. De entre la gran colección de modelos de AGVs existen 2 que podrían servir: *P1200* y *M100* (figuras 25). Los dos tienen dimensiones adecuadas y una batería de litio que se debe recargar 10min cada hora. La diferencia se encuentra en el tipo de navegación. El primero usa tecnología láser con reflectores y el segundo se guía mediante SLAM [43, 44].



(a) Lowpad M



(b) Lowpad S

Figura 24: Modelos de Lowpad



(a) P1200



(b) M100

Figura 25: Modelos de Geek+

### 5.2.7. KIVNON

*KIVNON* es una empresa Catalana con un gran catálogo de AGV para soluciones logísticas. Existen diferentes modelos que se acercan a cumplir con los criterios de selección (figura 26). Los modelos **K05 Twister** y **K11 Two way** son AGC bidireccionales capaces de llevar una carga mayor de  $500kg$ . El problema aparece en la altura de estos que llegan a  $280mm$ . Existe otro modelo **K41 SLIM** que es similar a los anteriores pero con una altura menor a  $210mm$ . Este modelo cumple los criterios de selección pero aún no se ha comercializado y por esa razón no se incluye en la tabla comparativa [45].



(a) K11 Two way



(b) K05 Twister



(c) K41 SLIM

Figura 26: Modelos de KIVNON



### 5.2.8. MiR: Mobile Industrial Robots

Una de las empresas más destacadas de AGV es *Mobile Industrial Robots*: MiR. Ésta se centra en construir una flota flexible de AMR con navegación SLAM. Existen 2 productos que podrían servir como solución: **MiR100** y **MiR200**. Estos son AMR simples con una altura mayor de  $300mm$ . Esto supone un problema ya que los vehículos por si solos no cumple con el criterio de selección de la altura. Sin embargo, si se les adjunta un módulo (**Hook**) encima de estos, pueden arrastrar los carros [46] (figura 27). Esta gancho permite agarrar todo tipo de estanterías rodantes a varias alturas, entre  $50mm$  y  $390mm$ . La carga que pueden transportar dependerá del modelo de AMR. La batería de ambos modelos es de litio y tienen la posibilidad de cambiar la batería o usar una estación de carga.



(a) MiR100



(b) MiR200



(c) MiR100 con módulo Hook



(d) MiR200 con módulo Hook

Figura 27: Modelos de AMR con y sin módulo

Comparación de modelos							
Modelo	Área de la base ( $mm \times mm$ )	Altura ( $mm$ )	Velocidad ( $\frac{m}{s}$ )	Carga máxima ( $kg$ )	Radio de giro ( $mm$ )	Batería	Navegación
Active ONE 	500 × 1500	190	1,5	800	750	10 horas	Magnética o SLAM
Aichikikai Super Low 	350 × 1600	170	0,85	750	1000	8 horas	Magnética u Óptica
MYLO Low-Profile 	355 × 2000	170	1	2000	584	8 horas	SLAM
OSCAR omni 	600 × 1750	218	1,6	1000	875	OP	SLAM
Lowpad S 	446 × 1140	105	1,2	1000	800	OP	Láser
Geek+ P1200 	500 × 740	210	2	1200	370	OP	SLAM
Geek+ M100 	500 × 740	210	1,5	200	377	OP	Láser
MiR 200 + Hook 	580 × 890	352	1,1	500	550	10 horas y OP	SLAM
MiR 100 + Hook 	580 × 890	352	1,5	300	550	OP	SLAM

Cuadro 6: AGVs comparación

### 5.3. Propuesta de Solución

Una vez vistas todas las posibles soluciones se puede definir una propuesta que se presentará al cliente. El primer elemento de la solución a determinar es el AGV, ya que a partir de éste podrá: escoger el sistema AGV, definir la flota de AGVs necesaria y establecer el nuevo sistema logístico.

#### 5.3.1. AGV

La selección del AGV se ha determinado mediante una **matriz de decisión por evaluación** (cuadro 7). Para ello se ha asignado un peso (en %) a cada criterio y se han valorado todas las opciones siguiendo una escala de 1 a 5, considerando 1 la peor opción y 5 la mejor. Seguidamente se suman todas las valoraciones ponderando en cada criterio y así obtenemos la valoración de cada alternativa. Los criterios a evaluar son los mismos que en el último apartado. El porcentaje y la puntuación de todos los criterios se realiza según:

- **Área:** Para obtener el máximo beneficio del espacio de la fábrica, interesa que la zona de estacionamiento (apartado 4.1.2) ocupe la mínima área posible. Por consiguiente, el área del AGV tiene un peso del 20 % y se valora con un 5 la mínima área.
- **Altura:** Siguiendo el criterio de selección, la altura debe ser menor a  $225mm$  y cuanto más grande sea la tolerancia entre el AGV y el carro más versatilidad tendrá el carro. Por consiguiente, la altura tiene un peso del 20 % y se valora con un 5 el valor mínimo.
- **Velocidad:** La velocidad de los AGVs varía entre  $0,8 \frac{m}{s}$  y  $(2 \frac{m}{s})$ . Como este criterio no es determinante para la solución sólo está ponderada con un 5 % del total. La velocidad más alta se valorada con 5.
- **Carga:** Según el criterio de selección, la carga a transportar debe ser mayor a  $250kg$  por eso cualquier AGV que lo supere es útil. Cuanto mayor sea la capacidad del AGV se podrá transportar otros elementos fuera de este estudio. Por consiguiente, la carga tiene un peso del 5 % y se valora con un 5 la máxima capacidad.
- **Radio de giro:** Para adaptarse a los pasillos actuales el radio de giro debe ser menor a  $2m$ . Como se debe compartir el espacio de los pasillos con otras carretillas manuales y personas, cuanto menos espacio ocupen los AGV será mejor. Por tanto, el radio de giro tiene un peso del 20 % y se valora con un 5 el mínimo radio.
- **Batería:** El funcionamiento del AGV en este estudio no es de trabajo continuo por eso el modelo de recarga ideal es *Opportunity Charging*. Este criterio (ponderado en un 10 %) se valora con un 5 los AGV que funcionan con cargas parciales y con un 1 los que necesitan intercambiar baterías.
- **Navegación:** Tal y como se ha explicado en el apartado 4.3.4, la tipología de guiado es muy importante y por esa razón tiene un peso del 20 %. El mejor tipo de navegación es SLAM, ya que permite la mayor configuración de la ruta y menor modificación de la infraestructura existente, por tanto se valora con un 5. El guiado por Láser o cinta magnética tiene ventajas e inconvenientes. Ambos necesitan infraestructura adicional, el sistema láser es más caro

pero requiere menos mantenimiento. Por todo ello ambas tipologías de guiado se puntúan con un 3.

	Área 20 %	Altura 20 %	Velocidad 5 %	Carga 5 %	Radio de giro 20 %	Batería 10 %	Navegación 20 %	Total 100 %
Active ONE	2	3	4	3	2	1	5	2,85
Aichikikai	3	3	1	3	1	1	3	2,3
MYLO	2	3	2	5	3	1	5	3,05
OSCAR omni	1	1	4	4	2	5	5	2,7
Lowpad S	2	4	2	4	2	5	3	3
Geek+ P1200	5	2	5	4	5	5	5	4,35
Geek+ M100	5	2	3	0	5	5	3	3,65
MiR200 Hook	3	5	2	2	4	5	5	4,1
MiR100 Hook	3	5	3	1	4	5	5	4,1

Cuadro 7: Matriz de decisión por evaluación

Al realizar la matriz de decisión se puede apreciar que destacan 3 candidatos que tienen las mejores puntuaciones:

- **Geek+ P1200**
- **MiR200 Hook**
- **MiR100 Hook**

Destacan, ya que tienen un área, una altura y un radio de giro mínimos y también todos usan el mismo método de recarga y guiado. Para poder tomar una decisión entre los 3 candidatos hay que tener en cuenta 2 aspectos adicionales que el cliente deberá valorar:

- **Versatilidad:** Aunque el AGV esté pensado para realizar una función muy concreta en este estudio, al no transportar material de forma constante, se podría emplear para otras tareas. Según las labores extras a realizar interesaría más un AGV que otro:
  - **Geek+ P1200:** La carga máxima a transportar es de  $1200kg$ , lo cual permite llevar otros elementos mucho más pesados.
  - **MiR100 + Hook:** Los modelos MiR utilizan un gancho adjunto que permite asir otros tipos de carros y podría llevar prácticamente cualquier elemento con ruedas. De la misma manera, el módulo se puede retirar y el AGV funcionaría como cualquier otro AGV de altura  $352mm$ .
  - **MiR200 + Hook:** Adicionalmente a todas las características versátiles del modelo hermano, este AGV puede llevar una carga ligeramente mayor y es configurable con una batería intercambiable. Algo que, aunque para esta funcionalidad no es lo más deseable, puede ser útil si se utiliza constantemente el AGV para otras funciones.
- **Presupuesto:** Los 3 modelos provienen de 2 comerciales distintos. Al ser un estudio académ-

mico las diferentes compañías no están abiertas a ofrecer precios de los productos. Según los deseos del cliente y su capacidad para negociar precios podría valorar uno por encima de otro. Para este caso se considera el coste de los 3 candidatos equivalente ya que tienen características técnicas similares.

Aunque los 3 modelos son soluciones válidas, el resto del estudio se realizará tomando el AGV: **MiR 200 + Hook** como propuesta de solución ya que tiene una gran versatilidad y unas características medias entre las 3 opciones. Una vez escogida la solución se pueden definir todas sus características:

	MiR 200	+ Hook (altura mínima)	+ Hook (altura máxima)
Ancho (mm)	580		
Longitud (mm)	890	1270	1180
Altura (mm)	352	550	900
Radio de giro (mm)	520	550	
Peso (kg)	70	98	
Carga (kg)	200	500	
Velocidad (m/s)	1,1 hacia delante		
	0,3 hacia atrás		
Autonomía (horas)	10	8 a 10 dependiendo de la carga	
Batería	Li-NMC, 24V, 40Ah		
Tiempo de Carga (horas)	4, 5 (cable)		
	3 (estación de carga)		
Protección IP	3 (IP20)		

Cuadro 8: Ficha técnica del AGV propuesto

### 5.3.2. Sistema Logístico

A fin de definir el sistema logístico es necesario indicar el sistema AGV: número de vehículos, método de recarga de la batería y conexión con el sistema de control.

**Número de vehículos:** Para determinar cuantos AGV serían necesarios hay que tener en cuenta los siguientes aspectos.

- **Tiempo de transporte de un AGV:** La duración de la ruta se puede calcular sabiendo que el trayecto completo, de ida y vuelta, mide aproximadamente 200m y la velocidad a la que puede ir el MiR200 es  $1,1 \frac{m}{s}$ . Por tanto, un solo AGV tardaría 3min en realizar todo el recorrido. Esta duración no sería la real debido a que el pasillo es compartido, donde podría encontrarse obstáculos y tener que pararse en varios momentos. El tiempo estimado para recorrer el trayecto sería de 5min. De igual forma, se debe tener en cuenta la duración de carga y descarga. Este proceso se puede estimar en menos de 2min. Por tanto, un AGV podría transportar un carro en 7min y en una hora movería 8 carros.

- **Número de zonas de trabajo:** Aunque la zona de montaje sea sólo una, está subdividida en dos estaciones de trabajo. Esto implica que en algún momento las dos zonas pueden necesitar material a la vez y se tendrían que usar 2 AGV.
- **Número de carros a transportar:** Tal como se ha visto en el apartado 4.1.5, diariamente se transportan entre 15 y 18 carros a las 2 secciones de trabajo.
- **Autonomía del AGV:** El AGV puede funcionar durante 10 horas, lo cual implica que podría funcionar toda la jornada y recargarse por la noche, cuando no funciona la fábrica.

Teniendo en cuenta todos estos aspectos se puede concretar que se necesitarán un máximo de 2 AGVs. Un solo AGV puede suplir la necesidad de las dos secciones ya que tiene capacidad para transportar el doble de carros que cada estación requiere. Prevenir el conflicto entre secciones de trabajo y evitar tiempo de espera en éstas se soluciona teniendo 1 carro en stock en las zonas de montaje. Por tanto en las 2 secciones habrían 2 carros de material, el que el operario está usando y el que necesitará para la siguiente tarea. Si se usan 2 AGVs implicaría que la mayoría del tiempo uno de los dos estaría parado. Esto se aleja de un sistema logístico óptimo, ya que habría un recurso infrautilizado (glosario 1) ocupando un espacio valioso.

Alternativa	Coste de Oportunidad
1 vehículo	Servicio ocasional de segundo vehículo Liberación completa del espacio del stock en la zona de trabajo
2 vehículo	El precio de 1 AGV Liberación parcial del espacio del stock en la zona de trabajo

Cuadro 9: Costes de oportunidad

Haciendo el análisis del **coste de oportunidad** (glosario 1) del cuadro 9) se puede ver que la mejor alternativa sería tener un solo AGV.

**Recarga batería:** Al usar la estrategia de recarga *opportunity charging* es necesario tener una estación de carga. Para optimizar la vida de la misma, la empresa que diseña el AGV también ofrece una estación de carga automática (figura 4.3.5). Ésta tiene unas dimensiones reducidas ( $580mm \times 300mm \times 120mm$ ) y pesa únicamente  $10kg$ . El montaje debe ser sobre una pared a  $45mm$  del suelo. La zona de estacionamiento actual de carretillas, destinada a guardar también el AGV, se encuentra en la parte central de la fábrica y no existe conexión eléctrica. Tal como se ha comentado anteriormente, esta estación sólo se tendrá que usar fuera de horas laborables. Por tanto, se podría colocar la estación de recarga en una localización diferente a la de estacionamiento regular del AGV. Esta alternativa sería un problema si se extiende el horario de apertura de la fábrica. Tampoco es posible relocalizar la zona de estacionamiento del AGV, ya que es uno de los requerimientos previos de este proyecto (apartado 2.2). En consecuencia, habrá que realizar una instalación eléctrica en la zona de estacionamiento del AGV.

**Sistema de control:** Para controlar el estado del AGV y configurar los recorridos del MiR200, la misma marca ofrece el producto: **MiRFleet**. Éste es útil cuando existe una flota de vehículos, por lo tanto no será necesario este producto. El AGV MiR 200 incluye el software de control que se puede instalar en cualquier ordenador de la red. Éste permite:



(a) MiR100



(b) MiR100 con módulo Hook

Figura 28: Estación de recarga de batería

- Controlar de forma centralizada la posición del robot dentro de la fábrica.
- Programar rutas del AGV.
- Gestionar módulo Hook.
- Controlar nivel de la batería.
- Configuración de usuarios y permisos.

Adicionalmente este software permite comunicarse con dispositivos PLC externos a través del protocolo de Internet Modbus TCP/IP. Lo cual nos sirve para conectar el control del AGV con el sistema MES descrito en el apartado 4.1.6. Desde la aplicación de MES se podría:

- Ver mensajes de estado:
  - Nivel de batería.
  - Tiempo de actividad.
  - Posición (X, Y) y orientación.
  - Código de error.
  - Longitud de la cola de misiones.
- Realizar comandos de acción:
  - Continuar Robot.
  - Pausar Robot.
  - Cancelar misión actual.
  - Borrar cola de misiones.



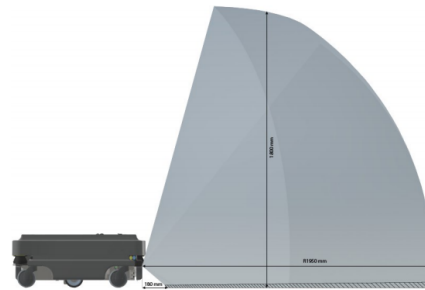
### 5.3.3. Análisis de Riesgos

La seguridad de las personas en la fábrica es lo más importante y el sistema de guiado más seguro es la navegación SLAM; criterio por el cual se ha escogido este modelo, explicado en apartado 5.3.1. Además, este modelo incluye 3 sensores extras de seguridad:

- **Escáner láser SICK S300.** Se colocan 2, uno en la parte frontal y otro en la parte trasera consiguiendo así una protección visual de 360° alrededor del AGV.
- **Cámara 3D Intel RealSense.** Permite detectar objetos desde 50mm hasta 500mm del suelo. Se puede apreciar en las figuras 29a y 29b.
- **Cámara 3D Intel RealSense en la parte frontal del gancho.** Esta cámara extra permite detectar elementos hasta 2m por encima del suelo. Se puede apreciar en la figura 29a.



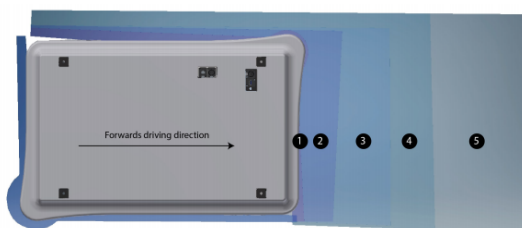
(a) MiR 200 + Hook



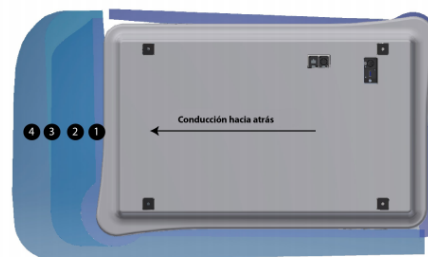
(b) MiR 200 + Hook

Figura 29: Cámaras y rango de visión del MiR 200 + Hook

A partir de estos 3 sensores el AGV es capaz de detectar un obstáculo fijo o móvil tal como se ha explicado en el apartado 4.3.6. El AGV reducirá su velocidad y su trayectoria según el objeto. A continuación se muestran las zonas que el robot analiza y las acciones según la distancia a la que se encuentre el objeto: figuras 30 y cuadros 10 y 11.



(a) Campos para la conducción hacia delante



(b) Campos para la conducción hacia atrás

Figura 30: Campos para la conducción



Caso	Velocidad (m/s)	Distancia del Campo (mm)	Acción
1	-1,40 a 0,2	20	Retroceso o avance lento
2	0,21 a 0,40	120	
3	0,41 a 0,8	290	
4	0,81 a 1,10	430	
5	1,11 a 2,00	720	Avance a velocidad máx.

Cuadro 10: Campos para la conducción hacia delante

Caso	Velocidad (m/s)	Distancia del Campo (mm)	Acción
1	-1,14 a 1,80	30	Retroceso o avance lento
2	-0,20 a 0,15	120	
3	0,40 a 0,21	290	
4	0,81 a 1,10	430	

Cuadro 11: Campos para la conducción hacia atrás

Otra fuente de riesgo para las personas a analizar es la batería. El AGV seleccionado utiliza una batería de litio (Li-NMC), un modelo que permite hasta 2000 ciclos de carga. Los riesgos a tener en cuenta son:

- **Inestabilidad de la batería por sobrecarga.** En concreto el modelo Li-NMC es uno de los más populares ya que entre las baterías de litio tiene el menor ratio de autocalentamiento y por tanto más seguros.
- **Emisión de gases nocivos de la batería.** Al final de la vida útil de todas las baterías, sobre todo si no se hace un buen uso de ellas, o se encuentran en un ambiente de más de 50°C se pueden genera de gases nocivos.

En referencia a las normativas explicadas en el apartado 4.3.6 el modelo MiR200 cumple los reglamentos de los AGV [46]:

- **EN1525:** Normativa europea de seguridad de las carretillas industriales (Carretillas sin operador y sus sistemas) [47].
- **ANSI B56.5:** Normativa americana de AGVs [48].

Adicionalmente se cumplen los estándares:

- **EN61000-6-2:** Normativa europea de compatibilidad electromagnética(CEM) en referencia inmunidad en entornos industriales [49].
- **EN61000-6-4:** Normativa europea de compatibilidad electromagnética(CEM) en referencia a la emisión en entornos industriales [50].
- **EN-60335-2-29:** Normativa europea de electrodomésticos y análogos en referencia a requisitos para cargadores de baterías. Éste sólo se aplica en la estación de recarga [51].

- CE: Marcaje de Conformidad Europea apoyada en la directiva 93/68/CEE [[52](#)].

## 6. Fase de Implantación

En la última fase del diseño de la propuesta del proyecto se define, de la forma más exhaustiva posible, como se va a desarrollar la implantación una vez el cliente acepte el proyecto. Se expondrá la solución, se precisará cómo será la puesta en marcha y se establecerá el funcionamiento regular del AGV en la fábrica.

### 6.1. Solución Final

La solución al problema original es la implantación de un sistema AGV completo con conexión al software MES. A continuación se detallan los diferentes elementos de la propuesta.

#### 6.1.1. Sistema AGV

El sistema AGV esta formado por:

- **1 Vehículo:** MiR 200 con módulo adjunto MiR Hook (figura 31a)
- **1 Estación de recarga:** MiR Charge 24V (figura 31b)



(a) MiR200 + Hook



(b) MiR200 con módulo Hook

Figura 31: Sistema AGV

#### 6.1.2. Logística

La solución óptima es integrar el sistema KANBAN en software de MES. Para ello hay que actualizar 3 grandes procesos en el sistema[26]:

- **Intercambio de datos maestros:** Es necesario incluir la base de datos del sistema KANBAN en el MES. De esta manera el sistema MES puede ver la lista de material para todos los tipos de tarjetas KANBAN. La información trasladada debería ser exactamente la misma. No es necesario reducir o cambiar el listado de materiales para cada KANBAN.
- **Procesar orden de descarga:** Los operarios de la fábrica deben ser capaces de ver la información de todas las tarjetas. En concreto, el personal del almacén, que debe preparar los

carros, necesita conocer el tipo de producto y la cantidad pedida. De igual manera, debe ser capaz de transmitir al sistema conforme los carros están preparados.

- **Movimiento de material:** Integrando las tarjetas KANBAN en el sistema MES se puede conseguir la trazabilidad de todos los movimientos de materiales y componentes.

### 6.1.3. Localización

La solución del proyecto conlleva una ligera modificación de la planta. Los espacios destinados al proceso de transporte de material se verán reducidos. En concreto, el espacio para almacenar carros en la zona de montaje disminuirá bastante. Pasa de almacenar 10 carros (apartado 4.1.4) a guardar sólo 2 carros, 1 por cada sección de trabajo. Esto hace que el área se reduzca a  $1m^2$ , ahorrando  $4m^2$ . Por tanto la nueva área de trabajo se aumenta y se vería como en la figura 32.

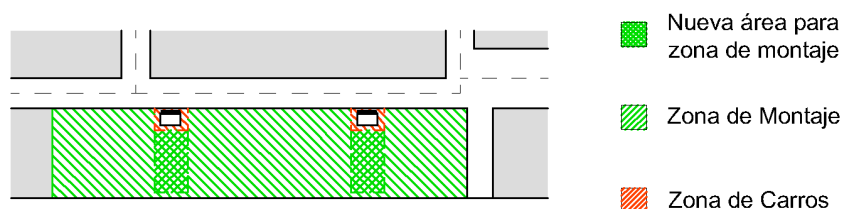


Figura 32: Plano esquemático de la nueva zona de carros dentro de la zona montaje

El espacio donde se estaciona el AGV es mucho menor al área donde actualmente se guarda la carretilla. Para ocupar el mínimo espacio, la zona de estacionamiento del AGV se colocará al lado del pasillo. También se debe situar lo más cerca posible a una fuente de tensión para que así las obras de instalación eléctrica sean lo más pequeñas posible. El área del MiR 200 con el gancho ocupa aproximadamente  $1m^2$ , ahorrando  $69m^2$  (representado en la figura 33).

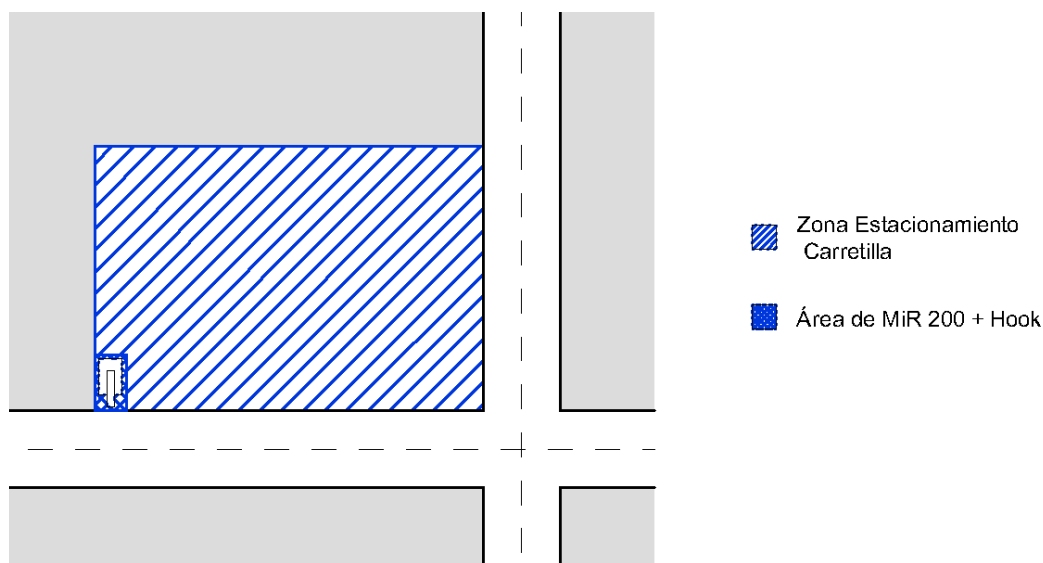


Figura 33: Plano esquemático de la zona de estacionamiento de la carretilla

## 6.2. Viabilidad Económica y rentabilidad

### 6.2.1. Análisis económico de la propuesta

Para analizar la viabilidad económica de este proyecto se comparan los costes totales de la nueva solución con el análisis económico de la situación inicial. En este calculo separaremos el coste de desarrollo (se tendrá en cuenta a parte, en el apartado 7) y los costes de construcción, operación y desmantelamiento.

**Costes de construcción:** La inversión inicial de puesta en marcha de la solución implica la compra del nuevo sistema AGV y de la integración del sistema KANBAN al MES. Para conocer el precio completo del AGV es necesario saber el valor de cada uno de los elementos (cuadro 12). Como el AGV es realmente un AMR no necesita ningún tipo de instalación en la fábrica, pero si que hay que realizar un mapeado de los pasillos. El coste de este proceso viene incluido en el precio total ya que la flota solo consta de 1 AGV. El coste que la empresa MiR no asume es el de la pequeña instalación eléctrica para dar tensión a la estación de recarga de la batería. Por tanto la nueva instalación completa es de 54500€, el desglose se puede ver en el cuadro 12.

Componente	Precio
MiR 200	35000 €
MiR Hook	15000 €
MiR Charge 24V	4000 €
Instalación eléctrica	500 €
<b>TOTAL</b>	<b>54500 €</b>

Cuadro 12: Desglose de precios del sistema AGV

**Costes de operación:** Debido a que el AGV es completamente autónomo, los costes de operación dependen del mantenimiento y el consumo eléctrico. El mantenimiento del AGV incluye la revisión anual de un operario de la empresa MiR y la asistencia telemática y presencial ante cualquier problema con el robot. En este coste, también hay que incluir el recambio de la batería. La vida media de ésta suele ser de 8 años, que es menor a la del AGV y por tanto habrá que cambiarla. Para calcular el consumo eléctrico hay que revisar los datos técnicos del cuadro 8, el precio de la potencia (0,15€/kW [28], utilizado en el apartado 4.2). De tal forma que si el consumo eléctrico es de 0,960 kW/h y el robot se recarga 3 horas cada día de apertura de la fábrica (250 días), el precio del consumo eléctrico anual será: 108€/año. Desglose en cuadro 13.

**Costes de desmantelamiento:** Este coste de desmantelamiento constaría simplemente de la desinstalación de la estación de recarga de la batería. El precio de éste se puede estimar en un día de trabajo de un operario de la empresa encargada del desmantelamiento del AGV. Este precio se estima en 500 €.

Componente	Coste anual
Revisión y Asistencia	3000 €
Recambio batería	$\frac{500}{8}$ €
Consumo eléctrico	108 €
<b>TOTAL</b>	<b>3170,5 €</b>

Cuadro 13: Costes de operación

### 6.2.2. Rentabilidad

Al actuar en un proceso que no aporta valor al producto final no se habrá variación de ingresos, pero sí de costes. En el cuadro 14, hecho a partir de los datos económicos de los apartados 4.2 y 6.2.1, representamos los costes anuales de las dos alternativas más la inversión que supone el cambio. En este cuadro también están calculados los costes acumulados de la situación inicial y de la propuesta de AGV. Estos mismos datos son los que se representan en la figura 34. En el cuadro y la gráfica se puede apreciar que el año 5 es el punto de inflexión. Desde ese instante, los costes acumulados de la alternativa propuesta son menores a la alternativa actual. Por tanto la solución del AGV, modelo MiR 200, es **rentable** en un plazo, que aun siendo largo, es bastante menor a la vida útil del robot.



Figura 34: Gráfico de coste acumulado

Aparte de la disminución de costes a medio plazo, la solución propuesta en este proyecto permite ahorrar espacio en toda la planta de la fábrica. En total el área que se consigue liberar es  $73m^2$ . Este espacio se podría usar para funciones que sí aporten valor añadido al producto y así

	Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Coste situación actual</b>	<b>Anual</b>	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3
	<b>Acumulado</b>	15,3	30,5	45,7	61	76,3	91,5	106,8	122	137,3	152,6
<b>Coste Solución MiR 200</b>	<b>Inversión</b>	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<b>Anual</b>	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
	<b>Acumulado</b>	58,2	61,3	64,5	67,7	70,8	74	77,2	80,4	83,5	86,7

Cuadro 14: Coste acumulado. Cifras en miles de €

aumentar el beneficio.

### 6.3. Fases futuras

Una vez se ha descrito la solución a implantar en la fábrica, faltaría definir como se desarrollará el proyecto en la fase de instalación, explotación y desmantelamiento.

#### 6.3.1. Instalación

La fase de instalación del proyecto es una de las más complicadas ya que se tiene que adecuar el AGV a la fábrica y se deben hacer unas pequeñas modificaciones. Tal y como se ha comentado anteriormente (apartado 6.1.3), las zonas involucradas en la operación de traslado de material se verán ligeramente modificadas. El plano de la fábrica completo quedaría como en la figura 35.

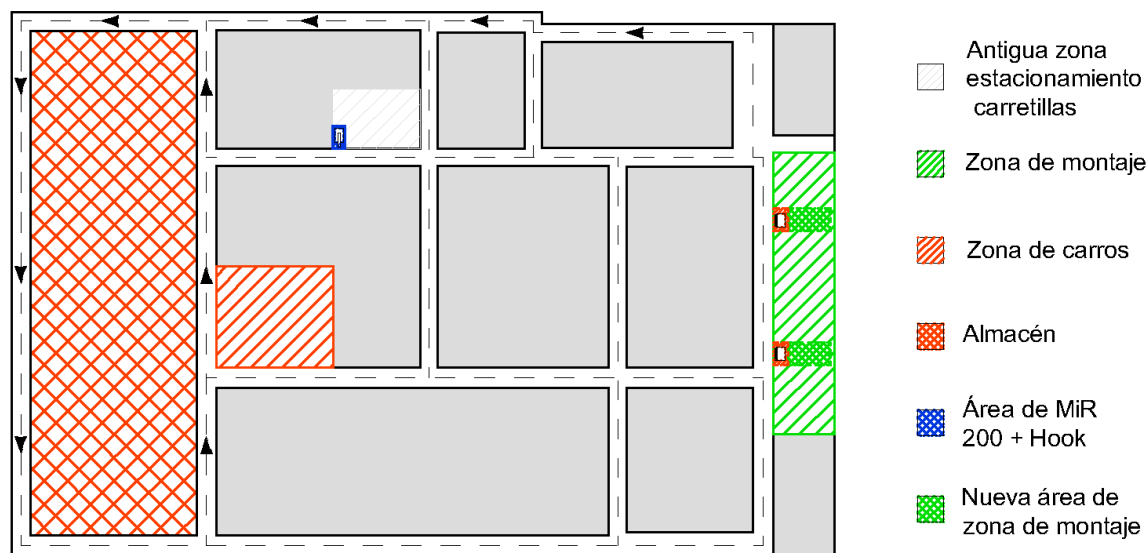


Figura 35: Gráfico de la nueva planta

La zona de montaje aumentaría su superficie, dejando el espacio para un carro en el lateral del pasillo. El área de estacionamiento del AGV se colocará también junto al pasillo para permitirle el acceso al mismo. El área de preparación de carros será la misma, ya que seguirá habiendo el

mismo número de carros pero la disposición interna se modificará para optimizar el recorrido del AGV.

La nueva disposición interna (figura 36) permite:

- Acceso al AGV a los carros preparados por el pasillo inferior de doble sentido. Como el pasillo vertical es de un solo sentido el AGV evitará rodear la isla.
- Acceso al personal del almacén a los carros semi-llenos para acabar de prepararlos.
- Acceso al AGV a los carros vacíos desde el pasillo por la zona más cercana a la estación de recarga

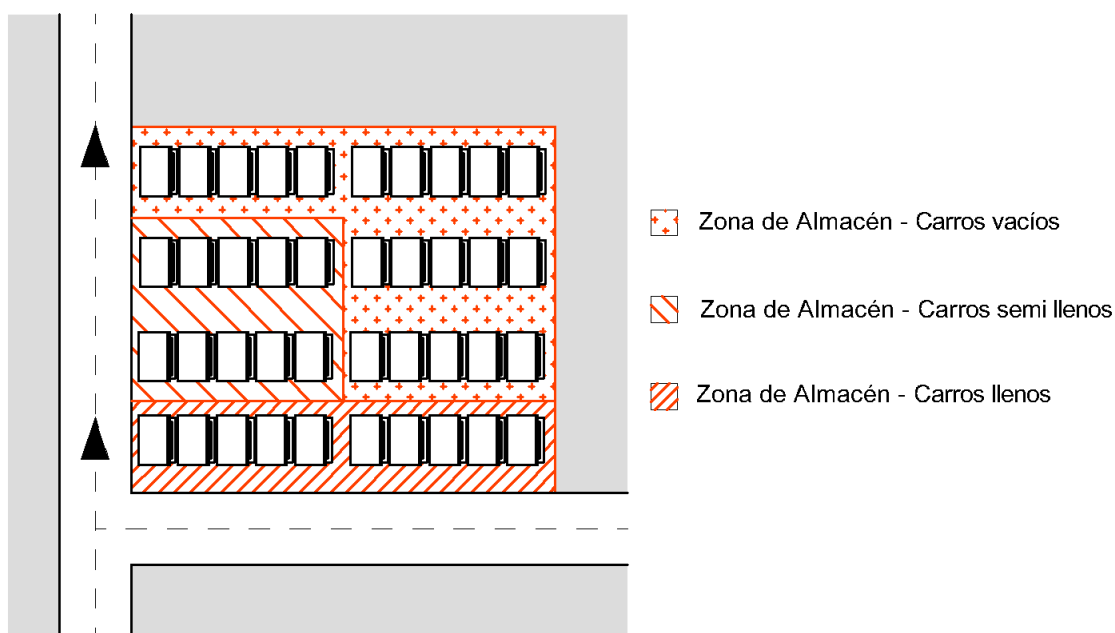


Figura 36: Plano esquemático de la nueva zona de estacionamiento de los carros

La empresa proveedora se hará cargo de la instalación del AGV. Ésta incluye el mapeado y la configuración de conexión entre el robot y el sistema MES. El mapeado consiste en conducir de forma manual el robot por todos los pasillos accesibles mientras éste capta información sobre los alrededores. A la vez genera un mapa interno a partir del cual el AGV podrá ubicarse en todo momento. Al tener sólo un vehículo la configuración se hace muy sencilla. Cada AGV lleva incluido un software accesible desde cualquier dispositivo con conexión a la red. Éste permite conducir el robot de forma manual y comunicar la tarea del MES para accionar el AGV.

Para integrar todo el proceso es necesario, como se ha comentado antes (apartado 6.1.2), pasar la base de datos de las tarjetas KANBAN al sistema MES. Además, hay que comunicar a los trabajadores conforme se realiza un cambio y a partir de entonces la interfaz que deben usar es la misma que ya usan para el sistema MES.

Todo este proceso de instalación se estima que durará alrededor de 6 meses desde el momento de emisión del pedido al proveedor. El proceso se describe en el diagrama de Gantt de la figura



37. A partir de diciembre del año 2020 se estima que el funcionamiento del proyecto se ponga en marcha y siga funcionando correctamente.

Tarea	Duración (meses)	Inicio	Final	jun-20	jul-20	ago-20	sep-20	oct-20	nov-20	dic-20	ene-21
Estudio Preinstalación	2	jun-20	ago-20								
Configuración AGV	4	ago-20	nov-20								
Configuración MES	4	ago-20	nov-20								
Cambio de disposición	1	nov-20	dic-20								
Puesta en marcha y funcionamiento		dic-20									

Figura 37: Diagrama de Gantt de la fase de instalación

### 6.3.2. Explotación

En la fase de explotación describimos el proceso normal y diario que se realizará en la fábrica para mover los carros con el AGV.

1. El proceso se inicia cuando un operario de la zona de montaje va a una interfaz del sistema MES e indica el KANBAN que necesitará próximamente.
2. El MES registra esta información y envía una señal a los operarios del almacén para que revisen la lista de componentes del KANBAN y comprueben que se pueda preparar el carro.
3. Si no hay existencias de algún componente, el personal del almacén genera un KANBAN de producción extraordinario para reponer el material necesario. Adicionalmente, se envía al operario de montaje un aviso conforme no se podrá entregar el carro con los materiales requeridos y deberá seleccionar otro.
4. Si están todos los componentes necesarios, los operarios del almacén preparan el carro.
5. Cuando lo hayan finalizado, moverán el carro preparado a la zona correspondiente (figura 36) e indicarán en el sistema MES conforme está preparado. Para ello, entrarán el número de carro y la localización del mismo. Para distinguir los carros se deberán implantar unos identificadores con códigos de barras que el lector del sistema MES pueda entender.
6. Mientras un operario de montaje esté trabajando, tendrá un carro (en uso) dentro de su sección y otro carro preparado para la próxima tarea en el área de carros de la zona de montaje (figura 35). Cuando el operario haya acabado con la operación en curso, tomará el carro lleno para trabajar y dejará en su lugar el vacío. En ese momento también indicará en el MES conforme ha acabado la tarea; lo cual implica que el AGV ya podría ir a buscar el siguiente carro y llevarse el vacío.
7. Si no estuviera preparado el carro, se enviaría un aviso al personal del almacén para acabar de prepararlo de forma urgente. Una vez esté preparado, MES se conecta con el software del AGV y le transmite la información:
  - Identificación de carro preparado a transportar.

- Localización del carro preparado a transportar. (Posición inicial)
  - Localización del carro vacío. (Posición final)
8. Si el AGV estuviera realizando otro transporte y no estuviera libre entonces esta información se guardará en la cola de misiones. Ésta tiene estructura **FIFO** (*First In First Out*) y por tanto guarda la preferencia de entrada a la hora de comunicar el transporte al AGV.
  9. Cuando el robot esté libre irá a la posición de inicio y recogerá con el gancho el carro en cuestión y se dirigirá a la zona de montaje (figura 39).
  10. Si la zona de montaje estuviera libre porque hubieran trasladado manualmente el carro vacío; el AGV lo detectaría y colocaría el carro lleno. En cambio, si estuviera ocupado, tendría que dejar a un lado el carro lleno para mover de sitio el vacío y sustituirlo por el lleno. Siempre que el AGV agarrare un carro vacío lo llevará a la zona correspondiente del almacén(36).
  11. Una vez haya acabado este intercambio, el AGV comprobará si la cola de misiones está vacía. En el momento en que no haya más transportes a realizar se irá directamente a la estación de carga.

Todo este proceso está representado en un diagrama de flujo en la figura 38.

El camino que recorrerá el AGV dependerá de los obstáculos que se encuentre en cada ocasión, pero por norma general seguirá el mostrado por las figuras 40,41,42 y 43. Éstas muestran desde la situación inicial hasta la final en la que se deja el carro vacío en la zona de almacén. La figuras 44 y 45 muestran las dos posibles situaciones finales descritas anteriormente, según la cola de misiones esté vacía o haya algún transporte pendiente.

### 6.3.3. Retirada

Es necesario pensar cómo se van a tratar con los residuos una vez el sistema AGV haya llegado a su fin, bien porque la fábrica decida cambiar de sistema o se llegue al final de la vida útil del vehículo. En este caso se contratará una empresa homologada o el proveedor original se encargará de la retirada en caso de sustitución del vehículo. La empresa encargada de la retirada del sistema realizará un análisis exhaustivo de todos los materiales involucrados para poder reciclarlos o tratarlos correctamente. Se deberán separar los materiales según su tipología de ciclo de vida de forma que contaminen el mínimo posible. Habrá que diferenciar entre:

- Batería de Litio
- Componentes eléctricos (Placas y cables)
- Piezas metálicas estructurales
- Piezas de plástico de la carcasa
- Ruedas de caucho

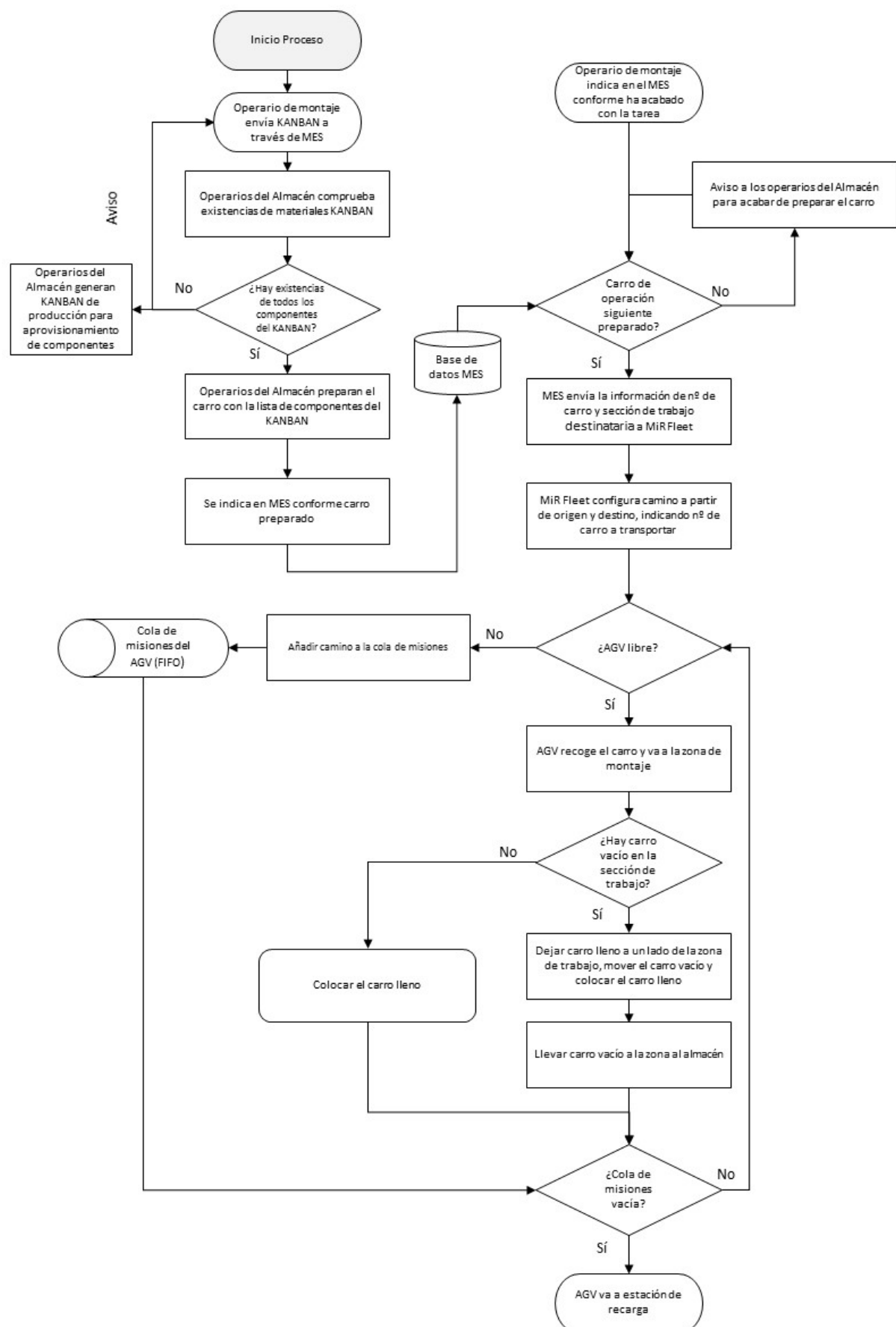


Figura 38: Diagrama de flujo de funcionamiento

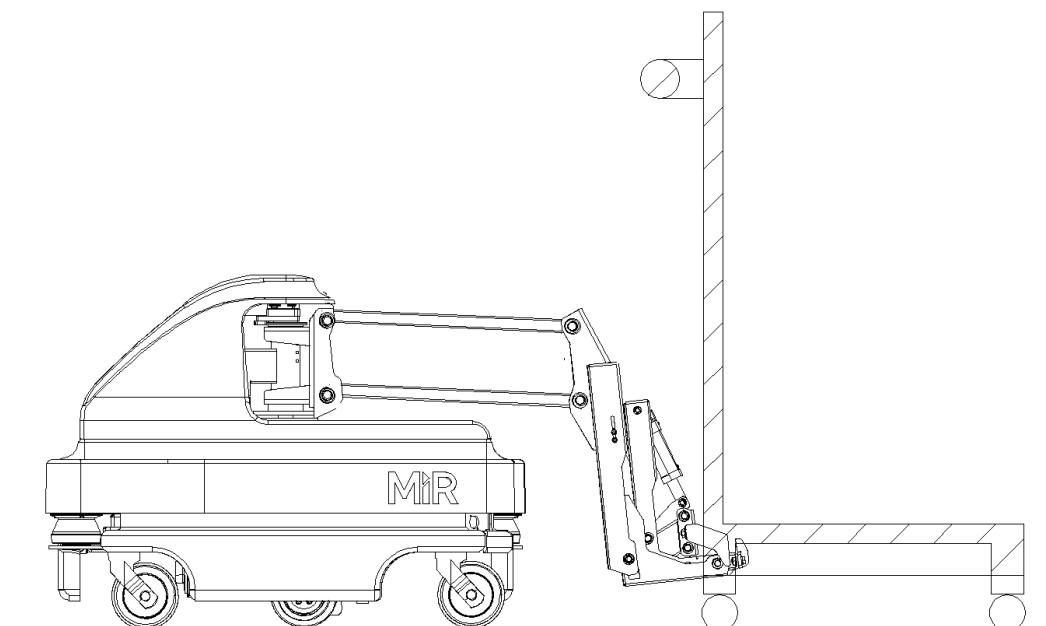


Figura 39: Diagrama unión entre carro y AGV

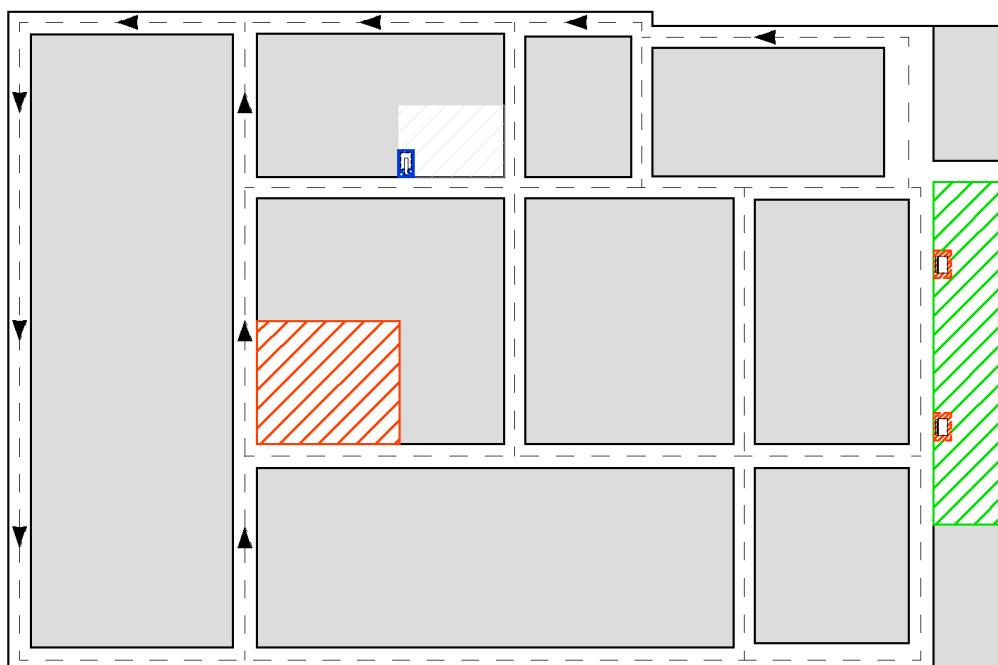


Figura 40: Situación inicial

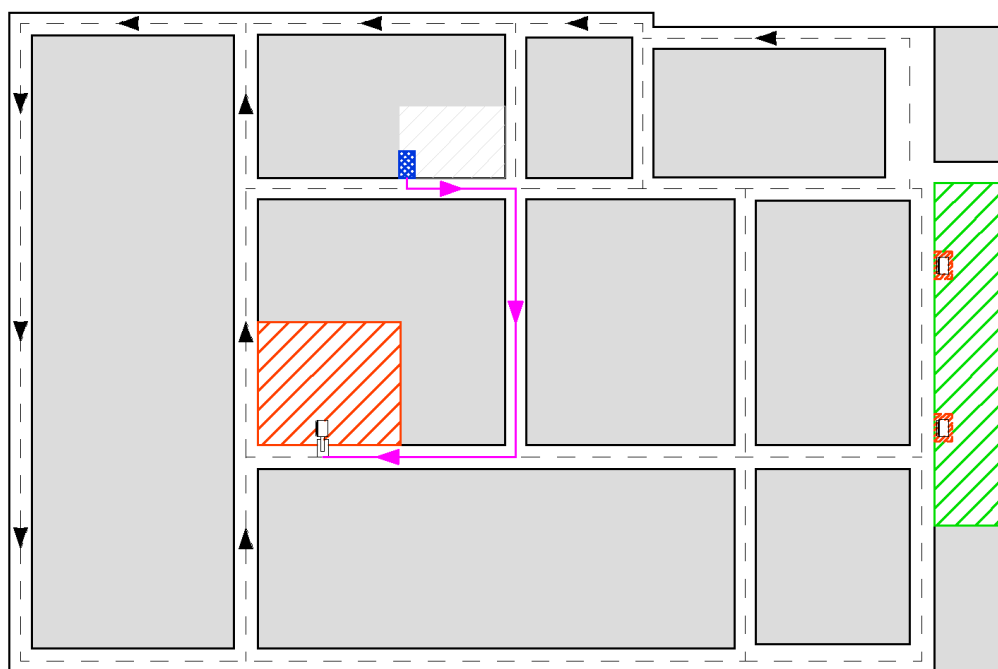


Figura 41: Ruta desde estación de carga a recoger carro lleno

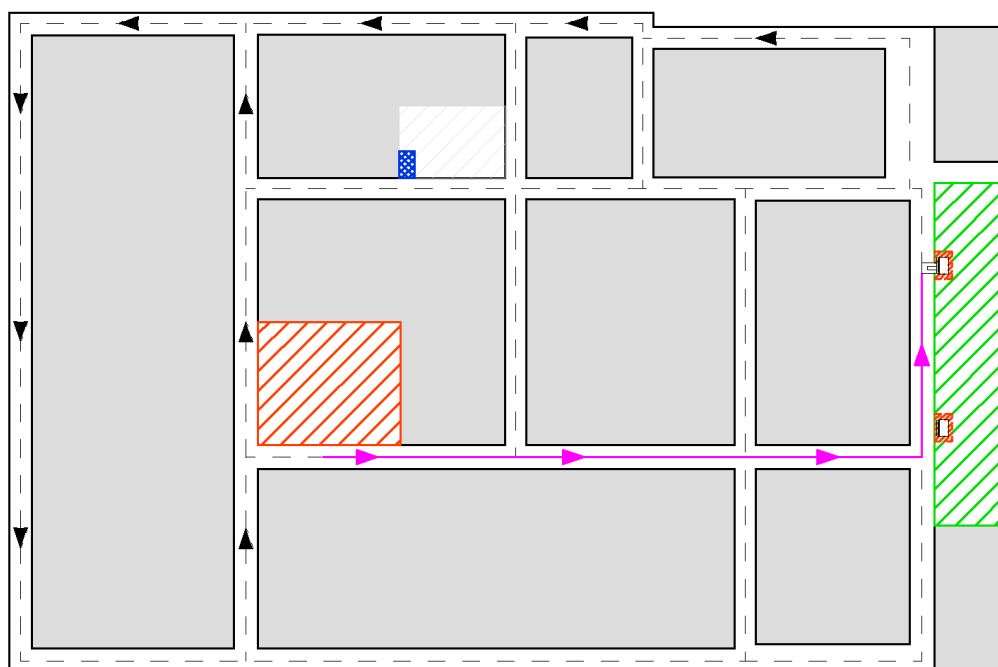


Figura 42: Ruta desde almacén a zona de trabajo

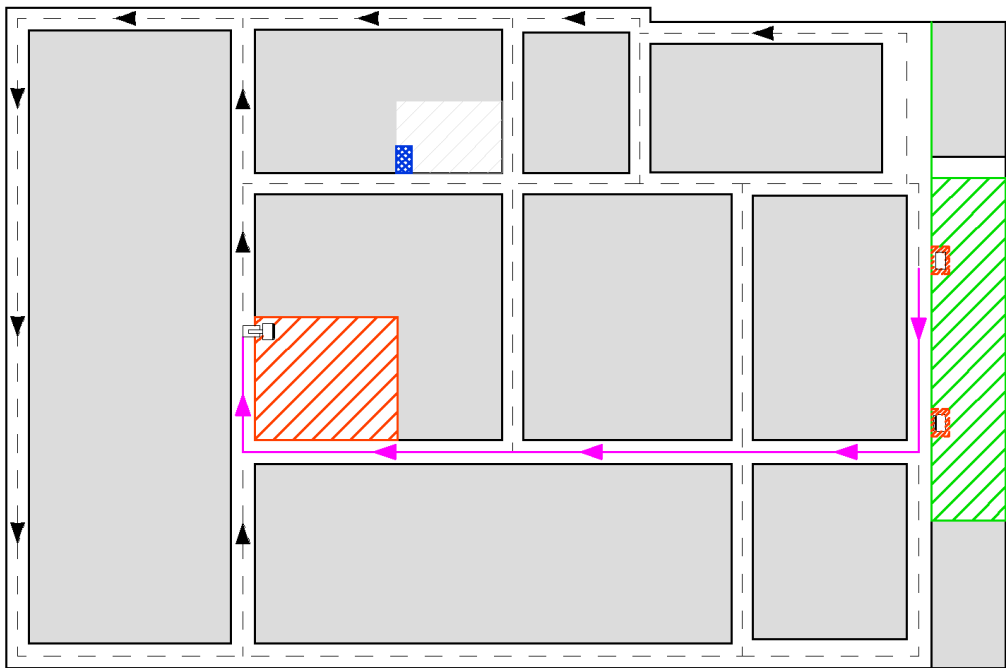


Figura 43: Ruta zona de trabajo a almacén

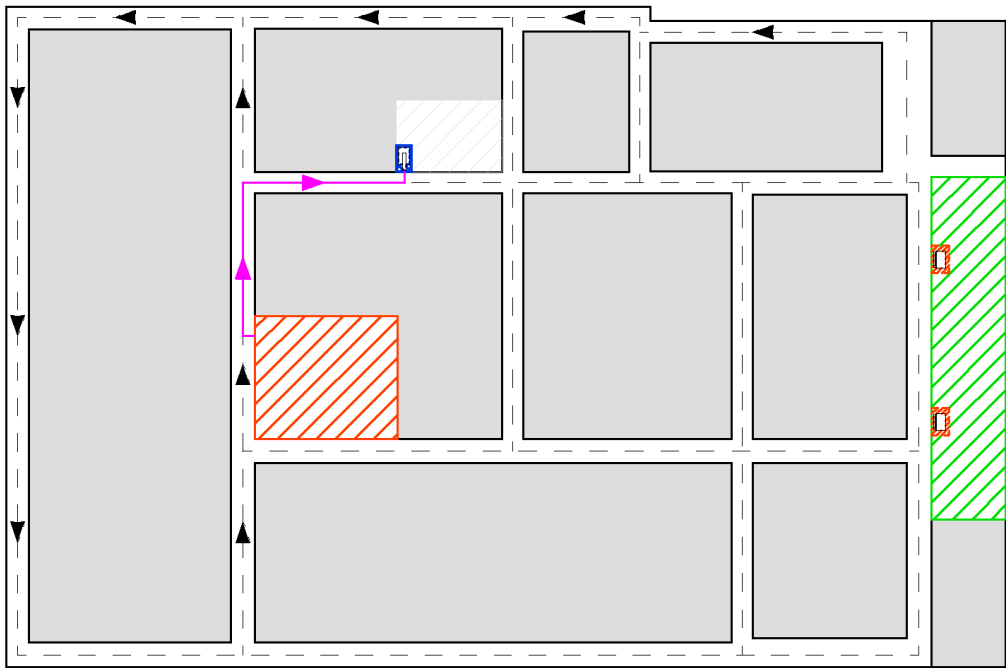


Figura 44: Ruta con cola de misiones vacía







## 7. Planificación y Presupuesto

El desarrollo del proyecto se ha llevado a cabo siguiendo la planificación de la figura 46.

Tarea	Duración (semanas)	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Comprensión funcionamiento actual de fábrica	4				
Investigación sobre AGVs	5				
Dimesionado de criterios de selección	2				
Estudio de mercado y posibles soluciones	4				
Selección de propuesta AGV	2				
Diseño de situación logística final	4				
Redactado de la memoria	15				

Figura 46: Diagrama de Gantt del proyecto

El presupuesto de este proyecto se basa en computar el precio de las horas trabajadas y el material utilizado. La realización del proyecto, en total, ha supuesto una dedicación de 250 horas. Este tiempo de dedicación se aprovecha para calcular tanto el coste de personal como la amortización del ordenador o el precio de las licencias.

Para este proyecto sólo ha participado un ingeniero industrial, que aunque ha realizado tareas varias se contabiliza todo su tiempo por un precio de 25 €/hora. Este proyecto se ha realizado

	Dedicación (horas)	Precio (€ /hora)	Coste Total (€)
Ingeniero	250	25	6250

Cuadro 15: Coste de personal

con un ordenador portátil de 900 € amortizado a 3 años. Sólo tendremos en cuenta la parte proporcional de la dedicación sobre el precio. Los programas de ordenador que se han usado

	Amortización (€ /año)	Dedicación (horas)	Precio (€ /hora)	Coste Total (€)
Portátil HP	300	250	0,035	8,56

Cuadro 16: Coste material

para este proyecto son: Textstudio, Autocad, QGIS y Excel. Éste último es el único que requiere una licencia de pago y por tanto sólo se tiene en cuenta éste para el presupuesto. La licencia de Autocad la proporciona la UPC y el resto son programas de código libre.

	Precio licencia (€ /año)	Dedicación (horas)	Precio (€ /hora)	Coste Total (€)
Microsoft Office 2013	75,99	250	0,008	2,16

Cuadro 17: Coste de licencias

El coste al final del proyecto aumenta a 6260 €. Aunque no se ha contabilizado también se podría tener en cuenta el coste de la conexión de Internet y el coste de la electricidad.



## Conclusiones

Este proyecto ha consistido en generar una propuesta para la implantación de un sistema AGVs en una fábrica industrial. Para ello se ha realizado una primera fase de análisis donde se ha estudiado:

- La evolución de la logística.  
Donde se ha visto que gracias a la industria 4.0 se han desarrollado nuevos modelos logísticos. Sistemas como la **Logística Inteligente** o la **Gestión de Cadena de Valor** están implantados en empresas tecnológicamente avanzadas. Por tanto la propuesta del proyecto se ha basado en la *Logística 4.0*
- Las características concretas de la fábrica.  
Para realizar una propuesta específica ha sido necesario conocer la infraestructura de la fábrica (las medidas de los carros a transportar, el espacio por donde se movería el AGV) y el sistema logístico actualmente implantado.
- El sistema AGV y todas sus características.  
El Vehículo Guiado Automatizado (**AGV**) es sólo un elemento de todo el sistema AGV. Éste incluye instrumentos de control, interfaces de usuarios y otros dispositivos. También se han estudiado los diferentes modelos de AGV y todas las posibilidades de guiado.

A partir de toda esta información se han definido los criterios con los que seleccionar el mejor sistema de AGV. Para proponer un modelo concreto se ha realizado un estudio de mercado, buscando modelos válidos entre más de 100 proveedores mundiales. Para escoger el sistema se ha tenido en cuenta:

- Las características técnicas del vehículo: tipología y dimensiones del vehículo, límite de carga, velocidad, radio de giro, sistemas de guiado y modelos de recarga de la batería. La aplicación de los criterios ha reducido los candidatos válidos a únicamente 3 modelos.
- La versatilidad del sistema. Para discernir entre los 3 candidatos se ha hecho una valoración sobre su versatilidad para transportar diferentes cargas.
- La capacidad de transporte. Puesto que cada AGV mueve 1 carro, se debe analizar la necesidad (número de carros a transportar en un tiempo medio) y la capacidad para suplir esos requisitos.

Gracias al análisis de mercado se ha propuesto el siguiente sistema AGV: 1 vehículo (**MiR 200**) con un módulo de gancho (**MiR Hook**) más la estación de recarga de la batería (**MiR Charge 24V**). Una vez seleccionado el sistema AGV, se ha analizado exhaustivamente las características técnicas de todos los componentes de la solución propuesta. Sobre el mismo modelo se ha llevado a cabo también un breve análisis de riesgos y análisis logístico. Este último explica la integración de sistema logístico KANBAN al software **MES**. El resultado final de este proyecto incluye la propuesta sobre:

- El sistema de AGVs
- El nuevo modelo logístico interno

- Validación económica de la propuesta de solución a largo plazo.
- La planificación de la implantación, explicación sobre el funcionamiento regular del nuevo sistema y una breve mención sobre el final de vida del sistema.

En conclusión, la realización del proyecto ha sido una experiencia muy enriquecedora y satisfactoria. Por una parte, ha permitido conocer y estudiar más a fondo sistemas logísticos y el sistema AGV. Por otra parte, este proyecto se ha realizado centrado en una fábrica concreta. Esto tiene un valor añadido, ya que permite llegar a una propuesta de solución específica para la situación. Adicionalmente, para el desarrollo de esta propuesta ha sido necesario contactar con empresas. Esto me ha permitido conocer cómo es el trato y la comunicación con diferentes empresas industriales; tanto la que solicita el proyecto como las proveedoras de AGVs. Pero, sobre todo, valoro que este proyecto me ha concedido el espacio y el tiempo necesario para apreciar que un proyecto de investigación puede generar una propuesta válida de mejora de un sistema existente, teniendo en cuenta aspectos técnicos, económicos y de seguridad.

## Agradecimientos

Me gustaría agradecer a todas las personas que me han ayudado de diversas maneras en la realización de este proyecto.

Primeramente, el profesor Luis Solano, ponente de este proyecto por su dedicación y disponibilidad, así como los diversos comentarios y consejos que han hecho el resultado del proyecto sea el que es.

Seguidamente, agradecer al tutor del proyecto, Jordi Fores, por su dedicación, consejos, contactos y entusiasmo en este proyecto. Sin su propuesta de siempre mejorar e utilizar la última tecnología este trabajo no existiría.

También agradecer a Carla Mediano, por sus consejos e interés al realizar el proyecto.

Por último agradecer a mi familia, mi pareja y mis amigos por el apoyo a lo largo de todo el proyecto.



## Bibliografía

- [1] L. Lynch, T. Newe, J. Clifford, J. Coleman, J. Walsh, and D. Toal, "Automated ground vehicle (agv) and sensor technologies- a review," in *2018 12th International Conference on Sensing Technology (ICST)*, Dec 2018, pp. 347–352.
- [2] A. P. S. of MHI, "On-line training program module 4a: How do the vehicles work in an agv system?" url<https://www.mhi.org/downloads/industrygroups/agvs/elessons/vehicles-work-agv.pdf>.
- [3] AGVnetwork, "Agv safety systems," url<https://www.agvnetwork.com/automated-guided-vehicles-types-cost-safety-applications-navigation#safety>, 2020.
- [4] M. Amr, M. Ezzat, and S. Kassem, "Logistics 4.0: Definition and historical background," in *2019 Novel Intelligent and Leading Emerging Sciences Conference (NILES)*, vol. 1, 2019, pp. 46–49.
- [5] Agv - glosario fts. [Online]. Available: <https://proant.de/faq-und-glossar/agv-fts-glossar/>
- [6] Wikipedia. [Online]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Localizaci%C3%B3n\\_y\\_modelado\\_simult%C3%A1neos](https://es.wikipedia.org/wiki/Localizaci%C3%B3n_y_modelado_simult%C3%A1neos)
- [7] P. Saranya and A. Fumio, "The design of kanban system for improving bottleneck problem of multiproduct," in *2014 IEEE 6th International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST)*, 2014, pp. 1–5.
- [8] Economipedia. [Online]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/coste-de-oportunidad.html>
- [9] J. O. SUELL DUTRA, MAXFABER ARCHILA, "Diseño mecatrónico de un robot tipo agv"automated guided vehicle", " *Revista UIIS Ingenierías*, 2008. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=553756884008>
- [10] Y. Sheffi and P. Klaus, "Logistics at large: Jumping the barriers of the logistics function," in *2013 International Conference on Biometrics Engineering*, 1997.
- [11] V. Yavas and Y. D. Ozkan-Ozen, "Logistics centers in the new industrial era: A proposed framework for logistics center 4.0," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 135, p. 101864, 2020. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554519311202>
- [12] R. H. Ballou, "The evolution and future of logistics and supply chain management," *Production*, vol. 16, pp. 375 – 386, 12 2006. [Online]. Available: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-65132006000300002&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132006000300002&nrm=iso)
- [13] B. Gajšek, M. Sternad, and T. Lerher, "Maturity levels for logistics 4.0 based on nrw's industry 4.0 maturity model," in *2013 International Conference on Biometrics Engineering*, 10 2018.

- [14] X. Zhao and L. Ning, "Study of the lean logistics operating model based on rfid and its application in auto industry," in *2009 International Symposium on Computer Network and Multimedia Technology*, 2009, pp. 1–4.
- [15] P. Heck and A. Zaidman, "Quality criteria for just-in-time requirements: just enough, just-in-time?" in *2015 IEEE Workshop on Just-In-Time Requirements Engineering (JITRE)*, 2015, pp. 1–4.
- [16] T. Kato, "Kansei robotics: Bridging human beings and electronic gadgets through kansei engineering," in *2013 International Conference on Biometrics and Kansei Engineering*, 2013, pp. 327–331.
- [17] X. Liu and Z. Lin, "Research on 3pl capacity under logistics subcontracting," in *2014 11th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)*, 2014, pp. 1–4.
- [18] X. Qian, M. Huang, M. Yin, Q. Zhang, and Y. Yu, "A multiattribute decision approach for 4pl supply base design," in *2019 Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, 2019, pp. 4281–4285.
- [19] Z. Xu, J. He, and Z. Chen, "Design and actualization of iot-based intelligent logistics system," in *2012 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 2012, pp. 2245–2248.
- [20] B. Y. Qi, Q. L. Yang, and Y. Y. Zhou, "Application of agv in intelligent logistics system," in *Fifth Asia International Symposium on Mechatronics (AISM 2015)*, 2015, pp. 1–5.
- [21] S. Li, J. Yan, and L. Li, "Automated guided vehicle: the direction of intelligent logistics," in *2018 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)*, 2018, pp. 250–255.
- [22] E. Cardarelli, V. Digani, L. Sabattini, C. Secchi, and C. Fantuzzi, "Cooperative cloud robotics architecture for the coordination of multi-agv systems in industrial warehouses," *Mechatronics*, vol. 45, pp. 1 – 13, 2017. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957415817300521>
- [23] *LiftRunner Technical Data Tugger Train Trailers and Trolleys*.
- [24] *LTX Technical Data Electric Tractor and Transporter*.
- [25] Y. Yang, "Mes technology analysis and optimization for electronic manufacturing industry," in *2017 International Conference on Robots Intelligent System (ICRIS)*, 2017, pp. 202–205.
- [26] A. Schumann, "Mes — integrated production control for batch plants," in *1999 European Control Conference (ECC)*, 1999, pp. 4830–4835.
- [27] Still búsqueda de maquinaria de ocasión. [Online]. Available: <https://www.still.es/carretillas/carretillas-de-ocasion/busqueda-de-maquinaria-de-ocasion.html#view/truck-comparison>
- [28] Comparador luz. [Online]. Available: <https://comparadorluz.com/pymes/tarifas>



- [29] Pricing. [Online]. Available: <https://kanbanize.com/plans-pricing>
- [30] X. Zhou, T. Chen, and Y. Zhang, "Research on intelligent agv control system," in *2018 Chinese Automation Congress (CAC)*, Nov 2018, pp. 58–61.
- [31] What is the best agv battery type? [Online]. Available: <https://www.agvnetwork.com/agv-types-of-battery#gel-agm>
- [32] What is the best agv battery type? [Online]. Available: <https://www.agvnetwork.com/agv-types-of-battery#lithium>
- [33] What is the best agv battery type? [Online]. Available: <https://www.agvnetwork.com/agv-types-of-battery#pure-lead>
- [34] What is the best agv battery type? [Online]. Available: <https://www.agvnetwork.com/agv-types-of-battery#flooded-lead-acid>
- [35] Agv automated guided vehicles battery charging solutions. [Online]. Available: <https://www.agvnetwork.com/automated-guided-vehicles-battery-charging-solutions#opportunity-charging>
- [36] B. Chen, "Verification and validation strategies on collaborative robotic agv : the process and challenges in the certification development," in *2017 IEEE International Symposium on Product Safety and Compliance Engineering - Taiwan (ISPCE-TW)*, Dec 2017, pp. 1–2.
- [37] Agvs suppliers. [Online]. Available: <https://www.agvnetwork.com/automated-guided-vehicles-manufacturers>
- [38] Activeone. [Online]. Available: <https://www.activespaceautomation.com/agv/activeone/>
- [39] Prodcets. [Online]. Available: <http://www.aiki-tcs.co.jp/product/low-height-type/447.html?lang=en>
- [40] Mylo low-profile autonomous mobile robot. [Online]. Available: <https://www.agmobilerobots.com/mylo-1/>
- [41] Solutions. [Online]. Available: <https://www.ds-automotion.com/en/solutions/platform/oscar-omni/?L%5B0%5D=title%3DOffre%27A%3D0>
- [42] Lowpad family. [Online]. Available: <https://lowpad.com/lowpad-family>
- [43] Goods-to-person picking. [Online]. Available: <https://www.geekplus.com/robot/p-robot/>
- [44] Moving. [Online]. Available: <https://www.geekplus.com/product-2/moving/>
- [45] Agvs mouse. [Online]. Available: <https://www.kivnon.com/agvmouse.html>
- [46] "A better way."

- [47] Une en 1525:1998. [Online]. Available: <https://www.en-standard.eu/une-en-1525-1998-safety-of-industrial-trucks-driverless-trucks-and-their-systems/>
- [48] Ansi/itsdf b56.5-2019: Guided industrial vehicles. [Online]. Available: <https://blog.ansi.org/2019/08/ansi-itsdf-b56-5-2019-industrial-vehicles/>
- [49] Une en 61000-6-2:2006. [Online]. Available: <https://www.en-standard.eu/une-en-61000-6-2-2006-electromagnetic-compatibility-emc-part-6-2-generic-standards-immunity-for-indu/>
- [50] Une en 61000-6-4:2007/a1:2011. [Online]. Available: <https://www.en-standard.eu/une-en-61000-6-4-2007-a1-2011-electromagnetic-compatibility-emc-part-6-4-generic-standards-emission-s>
- [51] Une en 60335-2-29:2006. [Online]. Available: <https://www.en-standard.eu/une-en-1525-1998-safety-of-industrial-trucks-driverless-trucks-and-their-systems/>
- [52] Wikipedia. [Online]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Marcado\\_CE](https://es.wikipedia.org/wiki/Marcado_CE)